



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
DEL PERÚ

Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación

**“Diseño de un prototipo de máquina  
trituradora de botellas PET”**

Autor: Luque Mendoza Eder Yuen – 1614703

Para obtener el Grado de Bachiller en:  
Ingeniería Mecánica

Lima, julio del 2019

## **RESUMEN**

Dentro del proceso de transformación del material PET reciclado se encuentra el subproceso de triturado, donde se requiere usar maquinaria para obtener partículas del tamaño requerido.

En el capítulo 1 se menciona los antecedentes de la investigación. En el capítulo 2 se desarrolla el marco teórico relacionado al trabajo de investigación. Mientras que en el capítulo 3 se desarrolla la metodología de la solución empleada, en la cual comprende la selección de la alternativa de solución, así como también los cálculos basados en la teoría de resistencia de materiales. En el capítulo 4 se realiza la discusión y análisis de resultados.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es diseñar un prototipo de máquina trituradora de botellas PET, para lo cual se plantean como objetivos específicos: determinar los parámetros de velocidad y fuerza, dimensionar los componentes de la máquina y, por último, desarrollar los planos de fabricación de la máquina.

La metodología empleada comprende seleccionar un mecanismo de trituración óptimo, se calcula la fuerza necesaria para cortar 0.6 mm de espesor de material PET reciclado, se determina las dimensiones de los componentes de la maquina teniendo en cuenta los esfuerzos a los cuales se encuentran sometidos producto de la fuerza de corte y considerando un factor de seguridad mayor a dos. Los cálculos de esfuerzos se realizan de forma manual y con ayuda de un programa de diseño (Inventor 2015), donde se

simulan los componentes, para luego comparar los resultados con los esfuerzos permisibles del material empleado.

Los resultados obtenidos son: 3990 N, fuerza necesaria para cortar espesores de PET de 0.6 mm con longitud de 350 mm, la velocidad y potencia requerida son de 76 RPM y 5 HP respectivamente.

Finalmente, se concluye que es factible realizar el diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres. Por su apoyo incondicional y a mi hijo recién nacido Mauricio.

### **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco a mi familia por su apoyo y paciencia, a todos los profesores que han contribuido con mi formación y a mis amigos que siempre están presentes.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	ix
CAPITULO 1.....	1
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
CAPITULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Tereftalato de Polietileno (PET) .....	7
2.1.1. Aplicaciones del PET .....	7
2.2. Cómo se recicla el PET.....	7
2.3. Equipo para reducción de tamaño. ....	8
2.3.1. Trituración .....	8
2.3.2. Molienda.....	8
2.4. Tenacidad a la fractura del PET .....	8
2.5. Trituradoras .....	8
2.5.1. Triturador de martillos .....	8
2.5.2. Triturador de cuchillas .....	9
2.5.3. Triturador de cuchillas cortadoras rotatorias .....	9
2.6. Potencia .....	10
2.7. Torsión .....	11
2.8. Esfuerzos normales para vigas en flexión.....	12
2.9. Esfuerzos en uniones soldadas sujetas a torsión .....	13
2.10. Nomenclatura de soldadura .....	14
2.11. Factor de Diseño y Factor de seguridad .....	15
2.12. Velocidades periféricas para la molienda y trituración .....	15
2.13. Evaluación de alternativas de solución .....	15
2.14. Selección del material de fabricación de las cuchillas .....	15
2.15. Estructura general de las cizallas.....	16

2.16.	Selección de cadena (transmisión de potencia).....	18
2.17.	Software de diseño y simulación .....	18
CAPITULO 3.....		19
METODOLOGIA DE LA SOLUCIÓN .....		19
3.1.	Identificación del problema de ingeniería.....	19
3.2.	Requerimientos iniciales .....	19
3.3.	Alternativas de solución .....	20
3.4.	Seleccionar la alternativa viable de solución.....	21
3.5.	Dimensión máxima de botellas PET .....	22
3.6.	Cálculos.....	24
3.6.1.	Calculo de fuerza de corte de botellas PET .....	24
3.6.2.	Calculo de esfuerzo en los soportes de cuchilla: .....	25
3.6.3.	Diámetro del eje: .....	26
3.6.4.	Soldadura en el soporte de cuchilla fija con la plancha gruesa de 12.7mm ..	27
3.6.5.	Calculo de juego de filos de las cuchillas fija y movil .....	30
3.6.6.	Simulación de la cuchilla fija y móvil acero AISI D2.....	31
3.6.7.	Velocidad.....	31
3.6.8.	Potencia de motor .....	31
3.6.9.	Soporte de cuchillas .....	32
3.6.10.	Diseño de la tolva.....	32
3.6.11.	Selección de la cadena .....	33
3.6.12.	Simulación de la estructura .....	34
3.6.13.	Tolerancias.....	36
3.7.	Planos .....	37
CAPITULO 4.....		38
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		40
BIBLIOGRAFIA.....		41
ANEXOS.....		43

## **INTRODUCCIÓN**

En el Perú y en el resto del mundo se enfrenta un gran problema, la contaminación, el número de habitantes en el mundo se ve en aumento y con ello la huella ecológica por habitante se refleja en el aumento de desperdicios que existe. Uno de los productos muy usados por casi todos los habitantes es el uso de envases descartables, estos envases están hechos de varios tipos de materiales, siendo uno de ellos el denominado PET (Tereftalato de polietileno), este material es muy usado para la industria alimenticia como envase de bebidas gaseosas, envases de agua de mesa, etc, ya que, es altamente resistente a la corrosión y al desgaste. A pesar de su gran contribución, el tiempo que demora en degradarse en el medio ambiente es de 500 años, y una vez degradado genera desechos tóxicos que afectarían la actividad agraria. Por ello es importante la correcta segregación y disposición final de este y otros materiales que pueden contaminar y dañar nuestro planeta por cientos de años. Hoy en día existe el reciclaje de polímero PET, este material reciclado puede ser usado para generar diversos productos o hasta fabricar nuevos envases. Con ello nace la necesidad de transformar este material para poder reutilizarlo.

En estudios anteriores se han diseñado y construido maquinas que trituran material reciclado PET, así como también otros tipos de plásticos, la mayoría de estas máquinas



funcionan de forma similar, el proceso de trituración es mediante el corte del material reciclado por medio de cuchillas, dentro de un espacio denominado cámara de trituración.

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo diseñar un prototipo de máquina trituradora de botellas PET y para ello se debe alcanzar los objetivos específicos correspondientes a determinar la velocidad y fuerza de la máquina trituradora de PET, dimensionar sus componentes y realizar los planos de fabricación.

La idea central del trabajo de investigación es diseñar una máquina trituradora de botellas PET

## **CAPITULO 1**

### **ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En los últimos años se ha avanzado con la tecnología y se han creado nuevos y mejores envases para poder almacenar alimentos y bebidas siendo que uno de los materiales más usado es el llamado PET (Tereftalato de Polietileno), que con el cual se pueden producir botellas de dicho material.

Este material PET demora alrededor de 500 años en degradarse; además de eso, se generan desechos tóxicos y su tiempo de degradación aumenta si el material se encuentra enterrado, afectando, de este modo, la productividad agrícola en los suelos, lo que afecta directamente a la economía y a la forma de vida de la población.

En nuestro país se producen e importan productos elaborados a base de PET (Tereftalato de polietileno), que son principalmente, envases de botellas para las bebidas gaseosas, cuyo consumo ha ido creciendo en las últimas décadas; esto se debe a que este material tiene características únicas como: una alta transparencia que sirve para visualizar su contenido; tiene una alta resistencia a la corrosión, convirtiéndolo en un material apto para el almacenamiento o envasado de alimentos y bebidas; posee una amplia resistencia química y física y por ultimo puede adoptar diversas formas debido al proceso de moldeo.

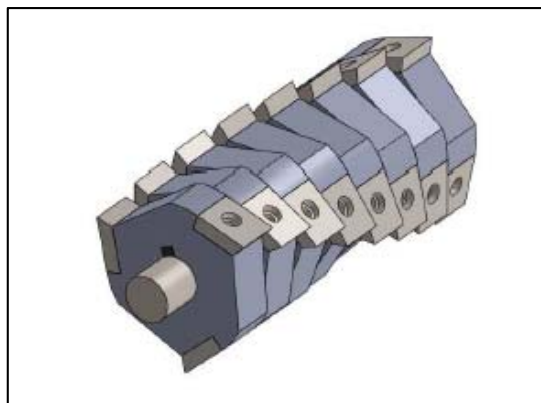
En la mayoría de casos, la utilización de estas botellas es de uso descartable y si no se tiene una adecuada disposición final de estos productos se contaminaría el mar y el suelo.

Gracias al reciclaje se estaría reutilizando estos componentes y obteniendo nuevos productos derivados.

En un estudio realizado en Lima en el 2014, se analiza un plan de negocio para implementar una planta recicladora de PET [1], donde se planea realizar las operaciones de separación, triturado, lavado y secado, para luego ser embolsado y comercializado como materia prima, en este estudio se concluye que las condiciones de mercado existentes son propicias para la realización de este emprendimiento. Por lo tanto, se necesita desarrollar maquinas o equipos necesarios para realizar los procesos mencionados, entre ellos, el proceso de trituración donde se necesita una máquina trituradora de botellas PET.

En un estudio realizado en Quito – Ecuador en el año 2013, se diseña una máquina trituradora de plásticos [2], donde analizan diversos sistemas de trituración y finalmente se escoge la alternativa correspondiente al sistema de un eje con cuchillas desfasadas a lo largo del mismo, la cual se muestra en la figura 1.

*Figura 1: Eje con cuchillas desfasadas [2]*

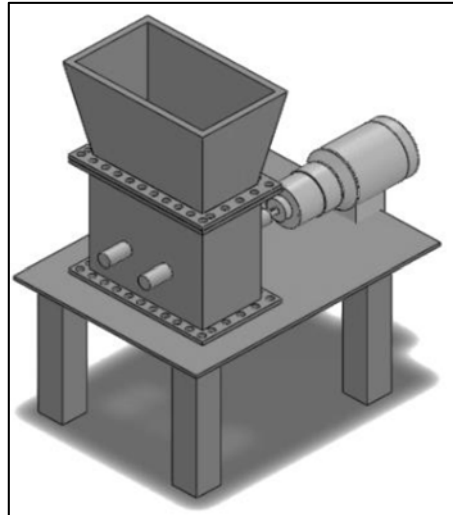


En un estudio realizado en el año 2014, se diseñó y construyó un prototipo experimental de una máquina perforadora de botellas de PET [3]. Con esta máquina que perfora los envases antes del proceso de prensado se estaría disminuyendo la energía que se utiliza para compactar las botellas, aumenta la densidad de los fardos compactados y disminuye los costos de almacenamiento. Para la construcción de esta máquina se utiliza dos rodillos con puntas que perforan las botellas PET y giran en sentido opuesto.

En otro estudio realizado el 2014, se diseña un prototipo de máquina trituradora de botellas PET [4], esta máquina usa dos ejes con cuchillas que giran en sentidos opuestos y el

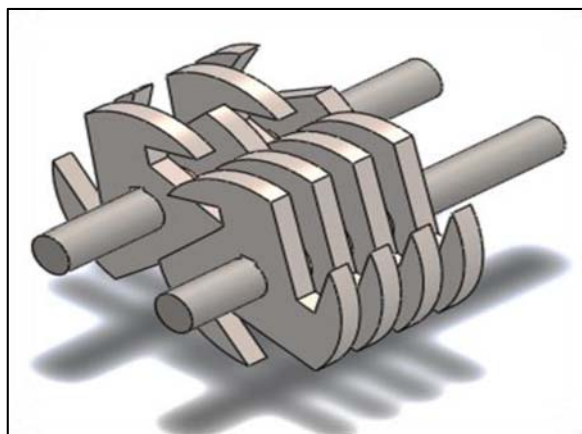
material usado para elaborar estas cuchillas es acero SISA A2, debido a su buena tenacidad y moderada resistencia al desgaste. La figura 2 muestra un esquema de la máquina trituradora presentada en la referencia [4].

*Figura 2: Máquina trituradora de botellas PET [4]*



En la figura 3 se muestra el sistema de cuchillas utilizado para el diseño de máquina trituradora de botellas PET [4]

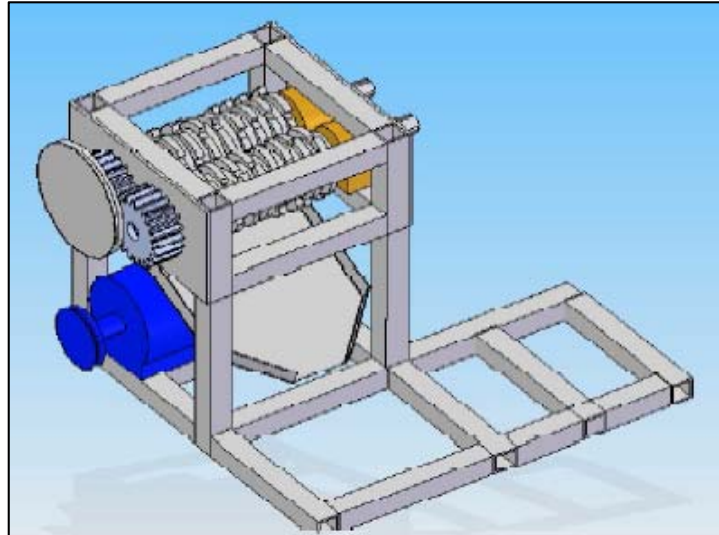
*Figura 3: Sistema de cuchillas para la máquina trituradora de botellas PET. [4]*



En un estudio realizado en la India, se diseña una máquina trituradora de residuos plásticos para pequeñas plantas recicladoras [5]. En este estudio se menciona que las pequeñas plantas de reciclaje no necesitan de grandes maquinas industriales que son costosas y que procesan una gran cantidad de plásticos, sino que, necesitan una maquina más económica y que sea fácil de dar mantenimiento. El diseño planteado usa dos ejes con cuchillas para

triturar el plástico, es un diseño similar a [4], pero con diferencias en cantidad y diseño de cuchillas tal como se muestra en la figura 4.

*Figura 4: Máquina trituradora de residuos plásticos. [5]*



En otro estudio realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador, se realizó el diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET [6]. El sistema de trituración de este diseño es mediante un eje con cuchillas rotatorias (cuchillas móviles) que cortan el material al hacer contacto con otras cuchillas que se encuentran dentro de la cámara de trituración (cuchillas fijas). En la figura 5 se muestra el esquema de la máquina trituradora diseñada en este trabajo de investigación. En la figura 6 se muestra el sistema de trituración del eje con cuchillas rotatorias, con una vista de corte frontal a un equipo triturador de botellas PET.

*Figura 5: Tritrador de botellas plásticas tipo PET [6].*

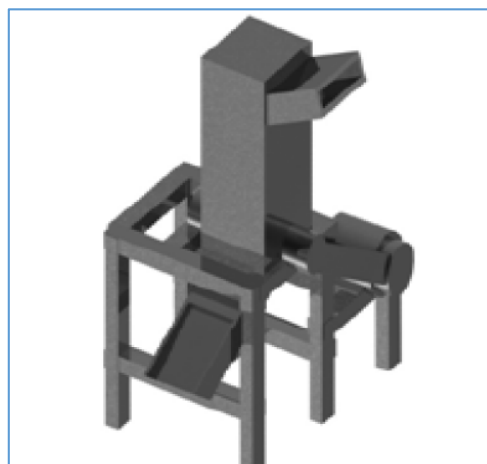
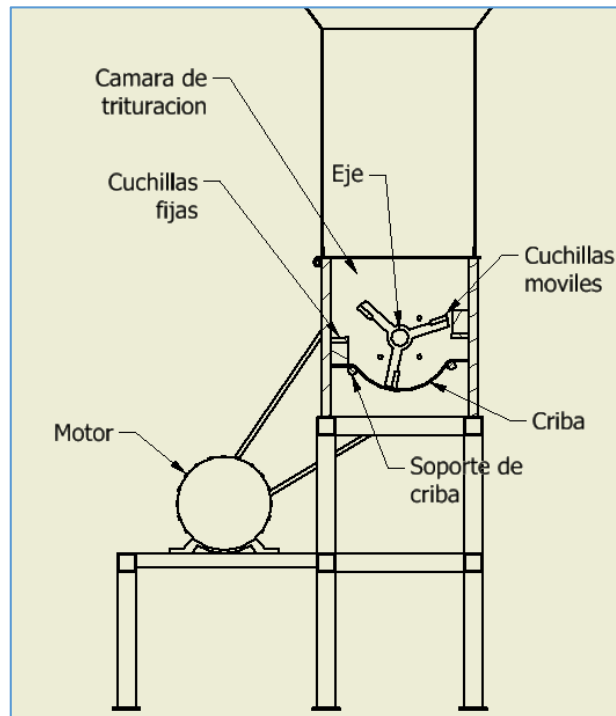


Figura 6: Triturador de cuchillas rotatorias PET.



En un estudio realizado en la Universidad de Lehigh [7], se analiza la tenacidad a la fractura y el comportamiento de propagación de grietas por fatiga del PET recocido, obteniendo que el recocido de PET a una temperatura de cristalización del régimen III de Hoffman (120 ° C) o la inducción de la polimerización en estado sólido dan como resultado materiales de alta resistencia a la fractura ( $K_{Ic} = 8.7 \text{ MPa}$  y  $9.5 \text{ MPa}$ , respectivamente), la polimerización en estado sólido es la que se utiliza para fabricar las botellas PET.

En un estudio realizado en la Universidad Nacional del Rosario en Argentina [8], detallan el proceso de extrusión y utilización del material PET reciclado, molido, lavado y mezclado con otros componentes para mejorar sus propiedades mecánicas y ser usado en la elaboración de chapas plásticas de tereftalato de polietileno (calaminas transparentes).

En un estudio realizado en la Universidad Austral de Chile [9], investigan el comportamiento mecánico de una mezcla de asfalto caliente, incorporando partículas gruesas de tereftalato de polietileno (PET) del reciclaje de botellas, con el fin de mejorar el rendimiento de los pavimentos flexibles haciendo que la infraestructura sea menos susceptible a deformaciones permanentes. Los resultados muestran que la incorporación de este aditivo

polimérico proporciona mayor estabilidad, además de un aumento en la resistencia a las deformaciones permanentes y la fatiga, en comparación con una mezcla "tradicional".

En otro estudio realizado en la Universidad de Lima, Peru [10], menciona el proceso de conversión de botellas PET a fibras de poliéster como alternativa de uso al material reciclado PET. Además se menciona que los productos fabricados a partir de esta fibra son: casacas, suéteres, frazadas, alfombras, telas para decoración, bolsos, cinturón de seguridad, mangueras, etc.

Existen diversos trabajos de investigación enfocados al diseño de máquinas trituradoras de botellas PET, además se detallan diversos sistemas de trituración de plásticos que pueden ser implementados. De la misma forma se mencionan los usos prácticos que se pueden dar a este material PET reciclado. Todo ello contribuye al desarrollo del presente trabajo de investigación.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Tereftalato de Polietileno (PET)**

Según [11], el PET está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Su porcentaje de composición es: 64% de petróleo, 23% de derivados del gas natural y 13% de aire. El PET es una combinación del ácido tereftálico (producto derivado del petróleo crudo y oxidado con el aire) y el etilenglicol (que es derivado del gas natural y oxidado con aire).

Un envase fabricado con material PET es de menor peso que el fabricado con vidrio o aluminio, por lo tanto genera menos residuos sólidos.

Además, según [2] este material se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad, propiedades de transparencia y resistencia química.

##### **2.1.1. Aplicaciones del PET**

Entre las aplicaciones que se dan a este material tenemos [11]: alfombras, ropa, telas para decoración, envases de bebidas, comidas y productos para el hogar.

#### **2.2. Cómo se recicla el PET**

Según [2], existen dos formas de reciclar el PET, reciclado químico y reciclado mecánico.

En el reciclado químico el material PET pasa por una serie de procesos donde las moléculas se descomponen dando lugar a las materias primas iniciales. El reciclado mecánico del PET es el más usado actualmente, consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. El PET se vuelve a fundir y a transformar en productos finales como bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, etc [7].



### **2.3. Equipo para reducción de tamaño.**

Según [6], los equipos para reducción de tamaño se dividen en trituradores, molinos, molinos de ultrafinos y máquinas de corte. Los trituradores se encargan de romper las piezas grandes de materiales sólidos en pequeños pedazos. Se pueden distinguir las distintas etapas de trituración y molienda a la salida de la máquina:

#### **2.3.1. Trituración**

Trituración gruesa – tamaños: 15 cm.

Trituración mediana - tamaños: entre 3 y 15 cm.

Trituración fina – tamaños: entre 0,5 y 3 cm.

#### **2.3.2. Molienda**

Molienda grosera – tamaños: entre 1 y 3 mm.

Molienda fina – tamaños: menores de 1 mm.

### **2.4. Tenacidad a la fractura del PET**

Según [7], la tenacidad a la fractura de las botellas de PET, es de 9.5 MPa.

### **2.5. Trituradoras**

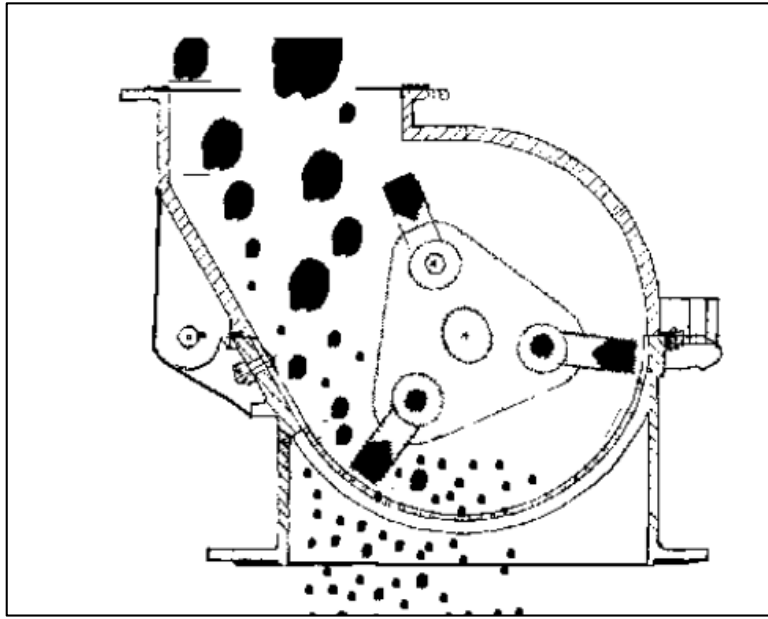
El funcionamiento de los molinos y las máquinas trituradoras son semejantes [2], la diferencia está en el tamaño de los materiales a procesar y con ello es diferente también la fuerza a ejercer, las máquinas trituradoras se utilizan para romper materiales duros y de gran tamaño, su principio de funcionamiento es la compresión, cizallamiento, impacto y atrición.

Existen diversos tipos de máquinas trituradoras cuyos diseños dependen del uso que se vaya a dar. Para el presente trabajo de investigación, se tiene como alternativas principales los siguientes trituradores:

#### **2.5.1. Triturador de martillos**

Es similar al molino de martillos, a diferencia de este, los martillos no pivotean en su eje porta martillos. En la figura 7 se muestra un triturador de martillos.

*Figura 7, Triturador de martillos [2].*



### **2.5.2. Triturador de cuchillas**

Este tipo de máquinas contiene dos ejes con cuchillas que giran en sentidos opuestos. En la figura 8 se muestra un triturador de cuchillas.

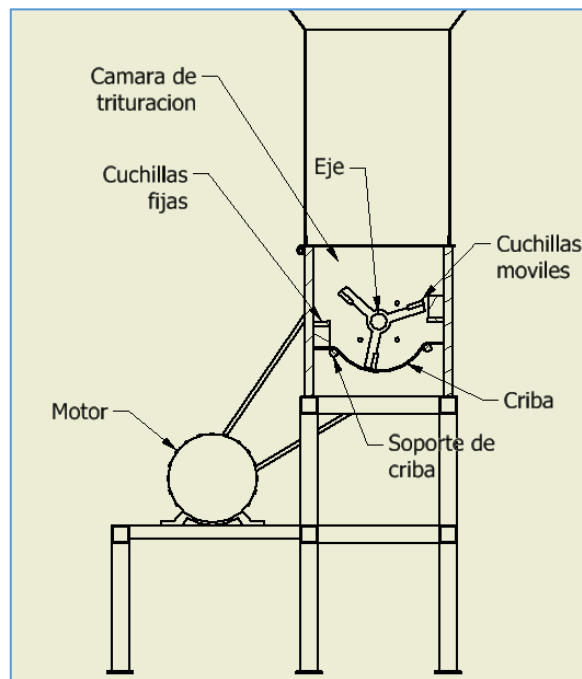
*Figura 8, Triturador de cuchillas [2].*



### **2.5.3. Triturador de cuchillas cortadoras rotatorias**

Este tipo de máquinas son muy comunes en la utilización de triturar plásticos, estas máquinas emplean un sistema de cuchillas móviles y cuchillas fijas, las cuchillas móviles van girando y cortando el material PET con las cuchillas fijas, se necesita gran precisión para ubicar las cuchillas, la separación tradicional entre cuchillas es 0.2 y 0.3 mm [6]. En la figura 6 se muestra este tipo de máquina.

Figura 6, Triturador de cuchillas rotatorias.



## 2.6. Potencia

La potencia que desarrolla una fuerza es el trabajo que realiza dicha fuerza en un tiempo determinado.

La ecuación de la potencia transmitida es la siguiente (SI): [12]

$$W_t = \frac{60000 \times H}{\pi \times d \times n} \quad (1)$$

Donde:

$W_t$  = carga transmitida, kN.

H = potencia, kW.

d = diámetro (mm).

n = velocidad, rpm.

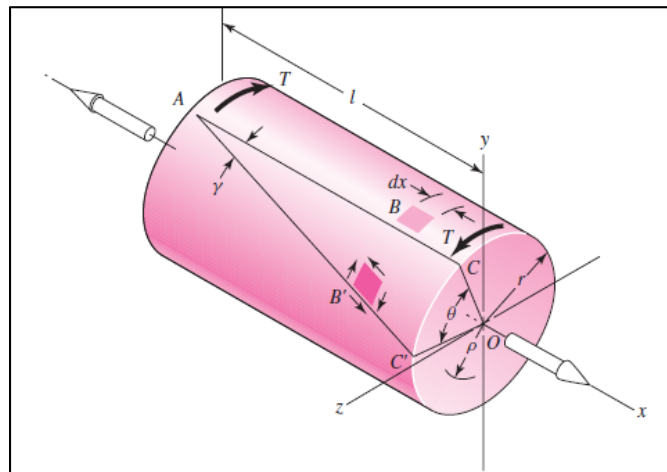
Con la ecuación 4, se halla la potencia necesaria para mover el eje con cuchillas móviles a una fuerza y velocidad determinada. Esta potencia calculada sirve para elegir un motor eléctrico adecuado y una faja o correa tipo V para transmitir dicha potencia desde el motor eléctrico hasta el eje con cuchillas móviles.

## 2.7. Torsión

Según [12], “Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico se llama vector de par de torsión, porque el momento causa que el elemento se tuerza respecto a ese eje”. Una barra sometida a un momento de ese tipo, está sometida a torsión.

En la figura 9 se muestra una sección circular sometida a torsión, los pares de torsión  $T$  son iguales y tienen sentidos opuestos. Además, hacen que la sección circular se tuerza respecto a su eje.

Figura 9: Diagrama del esfuerzo de torsión [12].



Para obtener el esfuerzo cortante máximo de torsión sección circular sólida se tiene la ecuación 5 que se muestra a continuación:

$$\tau_{Max} = \frac{T \times r}{J} \quad (2)$$

En donde:

$T$ : par de torsión, unidades  $N \times m$ .

$r$ : radio de la sección circular, unidades  $m$ .

$J$ : segundo momento polar de área, unidades  $m^4$ .

El segundo momento polar de área con sección circular sólida es presentada en la ecuación 6:

$$J = \frac{\pi \times d^4}{32} \quad (3)$$

d: diámetro de la sección circular.

## 2.8. Esfuerzos normales para vigas en flexión

Una viga de sección homogénea sometida a flexión, tal como se muestra en la figura 10, está sometida a esfuerzos normales de tensión y compresión, estos esfuerzos están separados por el eje neutro o centroide de la sección, tal como se muestra en la figura 11 [12].

Figura 10: Esfuerzos normales para viga en flexión [12].

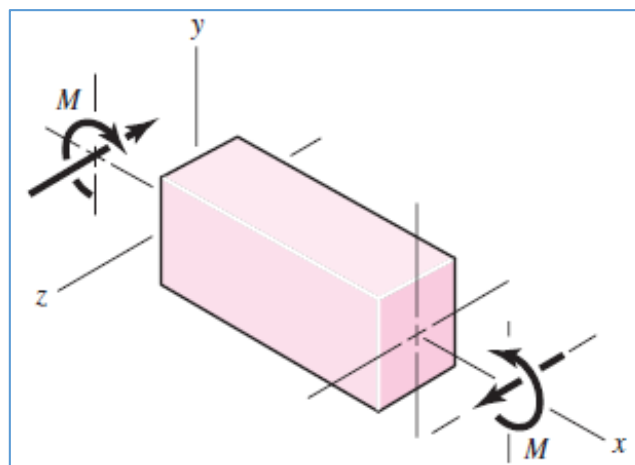
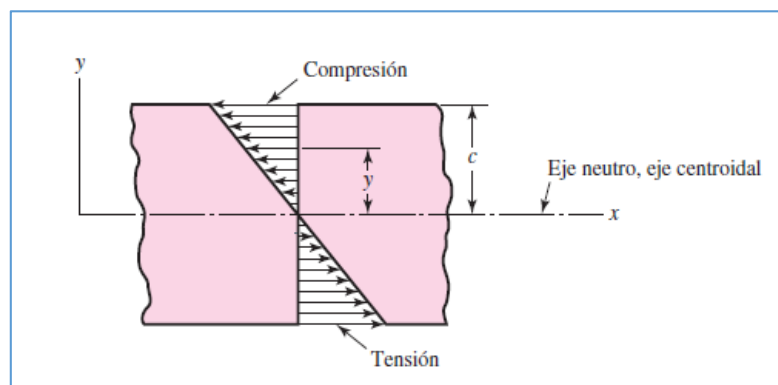


Figura 11: Esfuerzo de tensión y compresión [12]



La ecuación (4) sirve para representar el esfuerzo normal en flexión en vigas rectas:

$$\sigma_{Max} = \frac{M \times c}{I} \quad (4)$$

En donde:

M: Momento total en la viga, unidades N x m.

c: Distancia del eje neutro hacia la parte exterior de la viga, zona de tensión o compresión, según corresponda, unidades m.

I: Segundo momento de Inercia, unidades  $m^4$ .

## 2.9. Esfuerzos en uniones soldadas sujetas a torsión

En la figura 12 se muestra una barra de longitud  $l$  soldada a una estructura mediante dos soldaduras de filete. La reacción en el soporte de un voladizo siempre consiste en una fuerza cortante  $V$  y en un momento  $M$ . La fuerza cortante  $V$  produce un esfuerzo cortante primario en las soldaduras, cuyo valor es: [12]

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (5)$$

A: área de la garganta de la soldaduras, unidades  $m^2$ .

V: Fuerza cortante, unidades Newton.

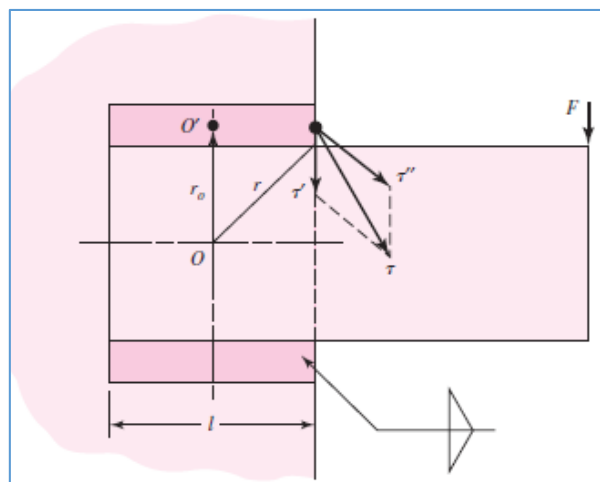
El momento  $M$  produce un esfuerzo cortante secundario:

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \quad (6)$$

$r$ : es la distancia desde el centroide del grupo de soldaduras hasta el punto en la soldadura de interés, unidades m.

$J$ : es el segundo momento polar de inercia del área del grupo de soldaduras respecto del centroide del grupo.

Figura 12, Voladizo soldado [12]

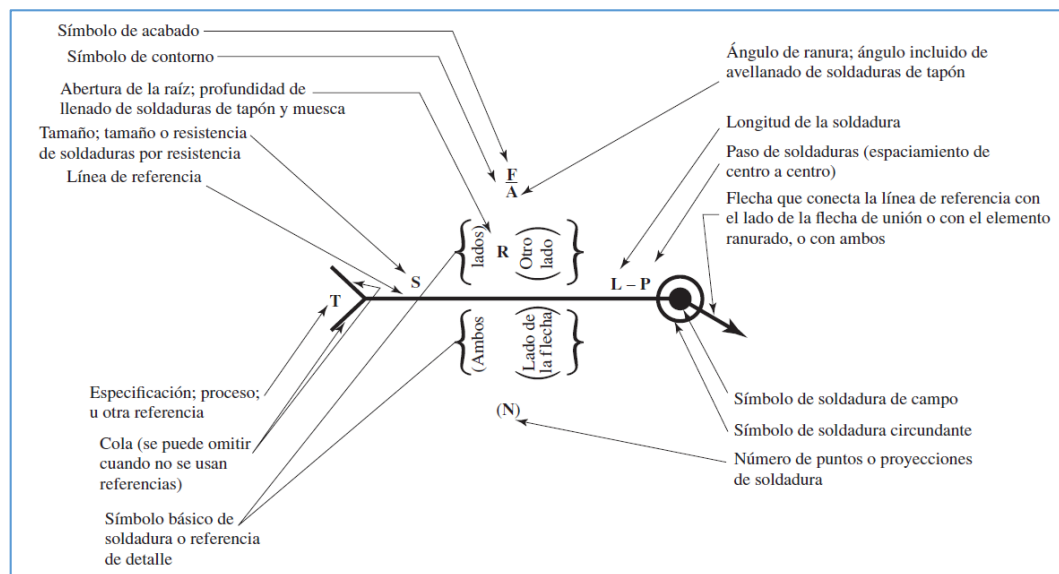


## 2.10. Nomenclatura de soldadura

Las uniones soldadas deben ser especificadas en los planos de fabricación o de trabajo, lo cual se hace con símbolos de soldadura estandarizados por la American Welding Society (AWS). La flecha de este símbolo apunta hacia la unión que se va a soldar [12].

El cuerpo del símbolo contiene todos los elementos que se consideran necesarios, tal como se muestra en la figura 13:

Figura 13, Nomenclatura de soldadura [12].



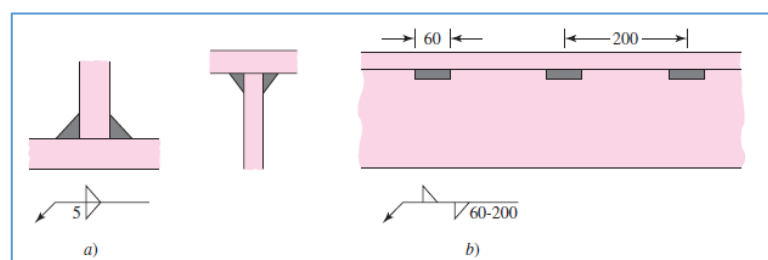
El tipo de soldadura o símbolo básico de soldadura se muestra en la figura 14:

Figura 14, Tipo de soldadura [12].

Tipo de soldadura							
Cordón	Filete	Tapón o muesca	Ranura				
			Cuadrada	V	Bisel	U	J

Un ejemplo del uso de la nomenclatura se muestra en la figura 15:

Figura 15, Nomenclatura de soldadura tipo filete [12].



### **2.11. Factor de Diseño y Factor de seguridad**

Para realizar el diseño de elementos estructurales se debe tener en cuenta la carga admisible a emplear, esta carga admisible está en función de la carga de pérdida de función y del factor de diseño que se tenga previsto. Después de concluir el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de variaciones en la obtención de los materiales utilizados, esto es, utilizar un tamaño estándar de una sección transversal mayor calculado o el uso de materiales con mejores propiedades en lugar de emplear lo que se había previsto usando el factor de diseño. Al utilizar, una vez más, la ecuación del factor de diseño, proyectando los materiales que se va a emplear, se cambia al nombre de factor de seguridad, que tiene la misma definición que el factor de diseño, pero por lo general difiere en su valor numérico. [12]

### **2.12. Velocidades periféricas para la molienda y trituración**

A diferencia de los molinos para plástico, que operan a altas velocidades de 415 a 1460 RPM y operan con torque bajo, las maquinas trituradoras, por el contrario, operan a bajas velocidades (3.6 a 83 RPM), y alto torque [13]. Por ese motivo no es conveniente alimentar un molino con piezas voluminosas y densas ya que puede provocar atoros en la máquina.

### **2.13. Evaluación de alternativas de solución**

Para evaluar la alternativa más adecuada se utiliza una tabla donde se especifica los criterios a tomar en cuenta y sus respectivas valoraciones donde el mayor valor calculado será la alternativa seleccionada. [14]

### **2.14. Selección del material de fabricación de las cuchillas**

Dentro de los aceros utilizados para hacer trabajos en frio [15], existe un grupo que es de aceros con alto carbono y alto cromo, los cuales bajo la norma AISI se representan con la letra D, dentro de este grupo el acero AISI D2 es un acero de temple al aire, este medio de enfriamiento disminuye la posibilidad de grietas, otro acero recomendado para trabajos en frio es el S7. Para efectos del presente trabajo de investigación se escoge al acero AISI D2.



### 2.14.1. Características generales del acero AISI D2

- Es un acero para herramientas con alto contenido de Carbono, Cromo, Molibdeno y Vanadio.
- Gran resistencia al desgaste.
- Elevada dureza, buena tenacidad.
- Gran estabilidad dimensional, alta templabilidad.

### 2.14.2. Aplicaciones del acero AISI D2

- Herramienta para corte de piezas (punzonado desbastado, cizallado, etc).
- Cizallas circulares.

Tabla n. 1, Propiedades mecánicas del acero AISI D2 [16]

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	210
Modulus of Elasticity	209.9 GPa
	180 GPa
	@Temperature 399 °C
	200 GPa
	@Temperature 199 °C
Compressive Yield Strength	1650 MPa

Según la tabla n. 1, para el acero AISI D2 se tiene un esfuerzo de cedencia a la compresión de 1650 MPa.

### 2.15. Estructura general de las cizallas

Los filos de las cuchillas de cizallamiento tienen un gran ángulo de filo (aprox. 80°), de tal forma que sean suficientemente estables durante el procedimiento de cizallamiento. Ángulos libres de 2 - 3° impiden el rozamiento entre las mordazas de cizallamiento y el material. Con el fin de que los filos no se rocen entre si y se desafilan, se debe ajustar un juego de filos en la cizalla de acuerdo al material que se va a cortar [16], en la figura 16 se muestra el ángulo de corte de la cuchilla y el juego de filos o distancia de separación que hay entre las cuchillas.

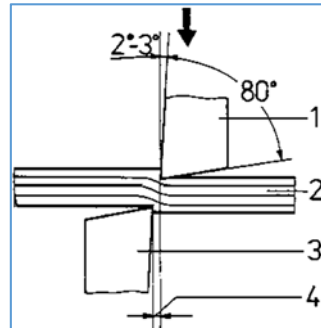
$$J = K \times e \quad (7)$$

J: Juego de filos, unidades m.

$K = 0,05$  hasta  $0,1$ .

e: Espesor de la chapa, unidades m.

Figura 16, Angulo de corte de cizalla [16].



En la figura anterior se visualiza juego de filos ajustado correctamente.

1: cuchilla superior de cizallamiento.

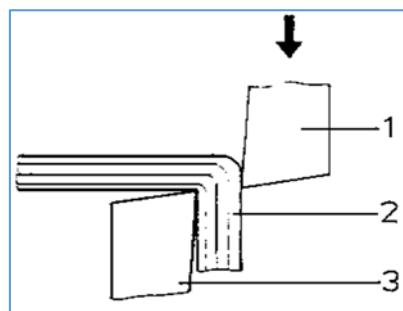
2: chapa.

3: cuchilla inferior de cizallamiento

4: juego de filos

Un juego de filos demasiado grande conlleva a superficies de corte irregulares y a la formación fuerte de rebaba, las chapas delgadas se pueden hasta llegar a doblar, tal como se muestra en la figura 17.

Figura 17, Angulo de corte de cizalla [16].



En la figura anterior se visualiza el efecto en el caso de un juego de filos muy grande, la chapa se dobla.

1: cuchilla superior de cizallamiento.

2: chapa.

3: cuchilla inferior de cizallamiento.

## 2.16. Selección de cadena (transmisión de potencia)

Las cadenas sirven para transmisión de potencia de una rueda dentada a otra, asimismo constituye un medio seguro para tal fin [17].

En la figura 18 se muestra dos cadenas contenidas en un piñón.

*Figura 18: Cadenas en piñón [17].*



En la tabla n. 2, se muestran las potencias en HP según RPM y paso de la cadena del piñón [16].

*Tabla n. 2: Tabla de potencias en HP [17]*

RPM del Piñon	Paso 3/4"					Paso 1"				
	Veloc. Max 1700 RPM					Veloc. Max 1250 RPM				
	Dientes					Dientes				
	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23
50	0.90	1	1.10	1.25	1.35	2,40	2,85	3,05	3,40	3,70
100	1.60	1.85	2.10	2.30	2.50	4,50	5,10	5,70	6,30	6,85
200	3	3.30	3.70	4.15	4.50	8	9	10	11	12,10
400	4.90	5.60	6.30	6.90	7.60	13	14,80	16,50	18,30	20
600	6.50	7.40	8.30	9.10	10	15,80	18	20,60	22,40	24,50
950	7.70	8.70	9.70	10.80	11.80	17	20	23	25	27
1500	8	9	10	11	12					
1700	8	9	10	11	12					

## 2.17. Software de diseño y simulación

Se utiliza el software Inventor 2015, este programa es un paquete de modelado de sólidos en 3D, es posible realizar planos y algunas simulaciones, es recomendable usar este programa para modelar un diseño de la máquina trituradora de botellas PET.

## **CAPITULO 3**

### **METODOLOGIA DE LA SOLUCIÓN**

#### **3.1. Identificación del problema de ingeniería**

El problema a abordar refiere a la mínima transformación que se da al material reciclado PET, por parte de los microempresarios que se dedican a recolectar y comercializar este tipo de materiales. La transformación del material PET reciclado, significaría un aumento en las ganancias de la empresa, ya que, el precio de venta del PET sin triturar es de S/. 1.2 por kilogramo de material reciclado y el precio de venta del PET transformado (triturado) es de S/. 4. A su vez, esta transformación del material PET, implica otros costos adicionales por parte de la empresa recicladora. Uno de los costos antes mencionados, es la adquisición de equipos o máquinas para realizar dicha transformación. Es por ello que se plantea hacer un diseño de máquina trituradora de botellas PET, para solucionar parte de la problemática actual.

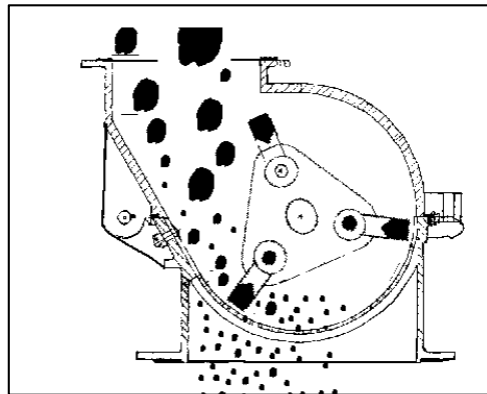
#### **3.2. Requerimientos iniciales**

- Como primer paso en el diseño de la máquina trituradora de botellas PET, se plantea los siguientes requisitos:
- El tamaño requerido por las partículas es de 10 mm como máximo.
- La salida de las partículas tendrán que caer en un recipiente, por lo cual la altura deberá ser de 500mm.
- Deberá funcionar con un motor eléctrico.
- El diseño debe tener una tolva donde depositar las botellas a triturar.

### 3.3. Alternativas de solución

La primera alternativa es una máquina trituradora de martillos, esta máquina posee un eje que tiene un sistema de martillos acoplados fijamente, giran a gran velocidad golpeando el material reciclado y despedazándolo, posee una criba o malla para separar el material que tenga el tamaño adecuado. La desventaja de este diseño es que se necesita de mayor tiempo y energía para poder triturar los materiales PET reciclados.

*Figura 7, Triturador de martillos [2].*



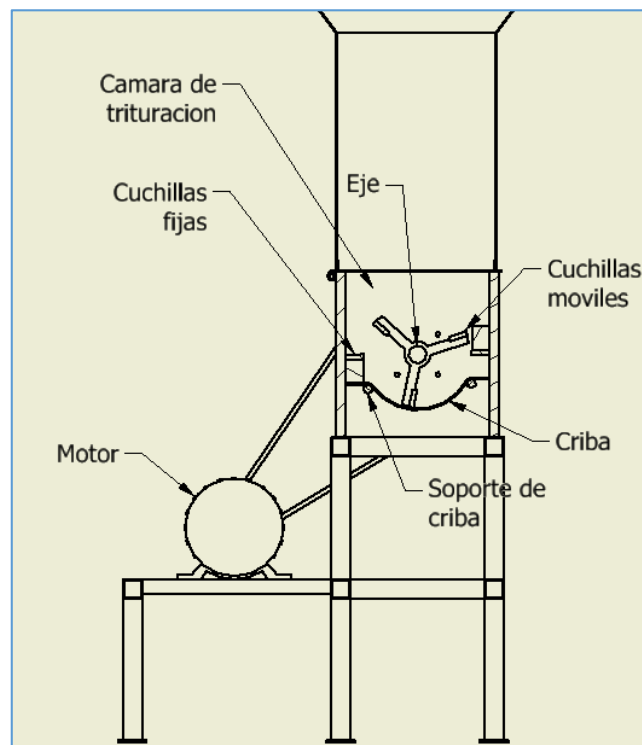
La segunda alternativa es una máquina trituradora PET, con sistema de trituración de dos ejes con cuchillas girando en sentidos opuestos, ver figura 8, este diseño corta el material reciclado a velocidad moderada. La desventaja de este diseño es que no se obtiene un tamaño estándar de las partículas cortadas por no tener una criba o malla que seleccione el tamaño requerido.

*Figura 8, Triturador de cuchillas [2].*



Por último, la tercera alternativa es una máquina trituradora con cuchillas cortadoras rotatorias, este tipo de máquina corta el material reciclado por medio de las cuchillas fijas y móviles, las cuchillas móviles se encuentran unidas a un eje y las cuchillas fijas están unidas a la cámara de trituración, en la parte inferior de la cámara de trituración se encuentra una criba o malla para separar el material triturado que tenga el tamaño adecuado.

*Figura 6, Triturador de cuchillas rotatorias.*



### **3.4. Seleccionar la alternativa viable de solución**

Para hallar la alternativa viable se considera tres posibles soluciones planteadas líneas arriba, las tres alternativas cuentan con una tolva y pueden funcionar con un motor eléctrico, la principal diferencia entre las tres alternativas es el mecanismo de trituración. Es por ello que este mecanismo será evaluado por criterios técnicos y económicos.

Listado de alternativas:

A: máquina trituradora de martillos, figura 7.

B: máquina trituradora con cuchillas girando en sentidos opuestos (2 ejes), figura 8.

C: máquina trituradora con cuchillas cortadoras rotatorias, figura 6.

### Evaluación de alternativas

p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores), 0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal).

g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.

Tabla n. 3: Evaluación de alternativas viables de solución

Criterios de selección	g	Alternativas					
		A		B		C	
		p	gp	p	gp	p	gp
Velocidad de mecanismo de trituración.	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Tamaño uniforme material triturado a la salida de la máquina (uso de criba).	0.5	2	1	1	0.5	4	2
Menor energía de impacto.	0.2	1	0.2	4	0.8	4	0.8
Costos de los componentes	0.2	3	0.6	2	0.8	3	0.6
Total	1	13	2.1	8	2.4	15	3.7

La alternativa de solución seleccionada es la C puesto que obtuvo el puntaje máximo de la evaluación, máquina trituradora de PET que usa cuchillas cortadoras rotatorias, ya que corta el material reciclado de forma reiterativa hasta que se obtiene el tamaño adecuado que depende de la criba o malla que va separando el material cortado, además, se puede instalar dos cuchillas fijas y tres cuchillas móviles para acelerar el proceso de corte. Como segunda opción se tiene la máquina trituradora con cuchillas, usando dos ejes que giran en sentidos opuestos.

### 3.5. Dimensión máxima de botellas PET

Para conocer mejor los grosores del material PET que tienen las botellas comerciales en nuestra localidad, se tomó una muestra de botella PET, cuya presentación es una de las más grandes del mercado y se procedió a medir los grosores de su pared en tres partes de la botella: en el pico, en la base y en la pared de la botella.

En la figura 19 se muestra la botella muestreada cuya presentación es una de las más grandes del mercado. Altura de la botella 36 cm, diámetro 12 cm.

*Figura 19: botellas muestreada.*



En la figura 20 se muestra el grosor de la pared de la botella muestreada de 0.3 mm

*Figura 20: medida de grosor de pared de botella muestreada.*



En la figura 21 se muestra el grosor de la base de la botella muestreada, medida con un vernier (pie de Rey), cuya medida es de 3 mm.

*Figura 21: medida de grosor de base de botella muestreada.*



En la figura 22 se muestra el grosor del pico de la botella muestreada 1.9 mm



Figura 22: medida de grosor de material PET en pico de botella muestreada.



### 3.6. Cálculos

Para efectos de cálculos se estima un factor de diseño en los materiales de 2. Por lo tanto el factor de seguridad debe ser mayor a este. Todos los materiales son de acero ASTM A36, a excepción de las cuchillas móviles y fijas que serán fabricadas del material AISI D2, que es un material adecuado para cortar diferentes tipos de materiales.

#### 3.6.1. Calculo de fuerza de corte de botellas PET.

Para calcular la fuerza de corte de las cuchillas, se toma en consideración que las botellas tienen diferentes espesores siendo 0.3 mm el espesor que más se presenta en la botella de PET, se realizan los cálculos considerando la pared de la botella, se considera dos botellas ingresando al mismo tiempo a la cámara de trituración. En este caso es de 0.3 mm por pared de PET, multiplicándolo por 2 (dos paredes por botella reciclada) obteniendo un valor de 0.6 mm de espesor, largo de la cuchilla 350 mm. En donde:

$$0.3 \text{ mm} \times 2 = 0.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Utilizando la utilizando la ecuación 5 se tiene:

$$F = 9.5 \text{ MPa} \times 0.35 \text{ m} \times 0.6 \times 10^{-3} \text{ m} = 1995 \text{ N}$$

F: Fuerza de corte del PET, unidades Newton.

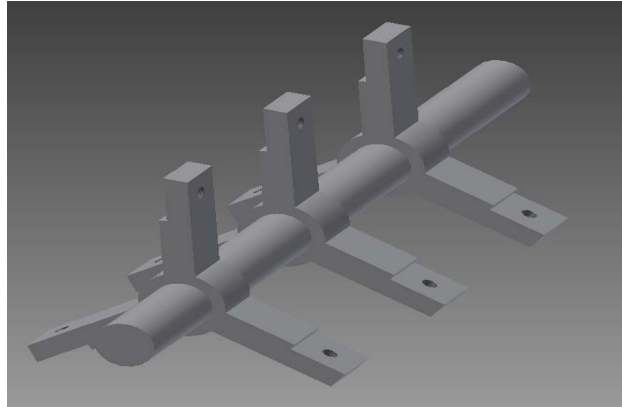
Resistencia a la fractura del PET: 9.5 MPa [7].

Esta fuerza es necesaria para hacer un corte de material PET de 0.6 mm de espesor y 0.35 m de ancho, utilizando un factor de diseño de 2, se tiene una fuerza de 3990 N.

### 3.6.2. Calculo de esfuerzo en los soportes de cuchilla:

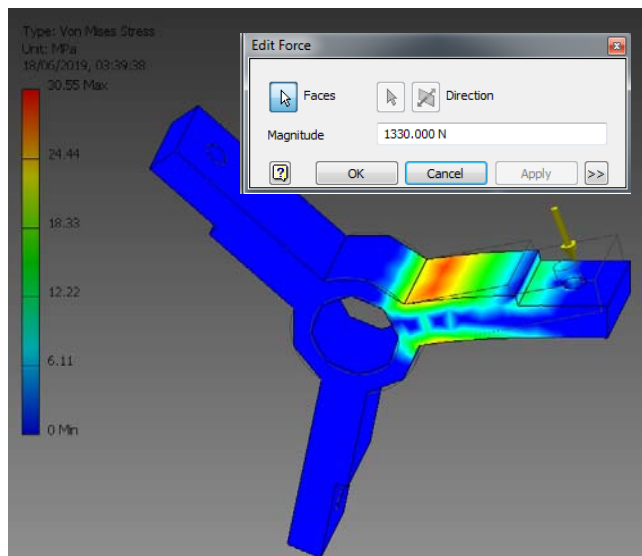
La fuerza total se divide entre el número de soportes de cuchilla (hay 3 soportes en el eje, figura 23, equivale a 1330 N por soporte). Las cuchillas se sueldan al eje.

*Figura 23: Eje del triturador con los soportes de las cuchillas móviles (tres).*



Se simuló un soporte de cuchilla con carga de 1330 N, utilizando el software Inventor 2015 y se tiene un esfuerzo máximo de 37.51 MPa, como se observa en la figura 24.

*Figura 24: Simulación de esfuerzo en soporte de cuchilla*



Máximo esfuerzo del material ASTM A36 sometido a tensión es 250 MPa. Anexo 2-B.

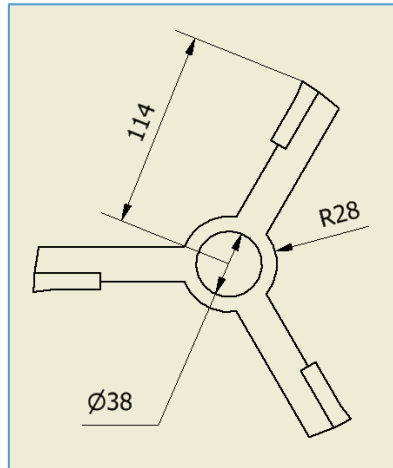
Acero ASTM - A36.

Se calcula el factor de seguridad:

$$FS = \frac{250 \text{ Mpa}}{37.51 \text{ MPa}} = 6.66$$

Por lo tanto este elemento satisface el requerimiento. En la figura 25 se muestra la vista frontal del soporte de cuchillas móviles diseñado.

Figura 25: soporte de cuchilla móvil.



### 3.6.3. Diámetro del eje:

Hallando el torque total en el eje:

$$T_2 = F \times d$$

F: fuerza de corte total hallada. 3990 N.

d: distancia desde el eje hasta la cuchilla.

T2: Torque o momento total

$$T_2 = F \times d = 3990 \text{ N} \times 0.114 \text{ m} = 454.86 \text{ N} \times \text{m}$$

El esfuerzo de fluencia del material ASTM-A36 es de 145 MPa para esfuerzos de torsión.

Ver anexo 2-B.

Factor de diseño: 2

Esfuerzo permisible:

$$\tau_{Max} = \frac{145 \text{ MPa}}{2} = 72.5 \text{ MPa}$$

Utilizando la ecuación 2, para hallar el diámetro del eje en torsión:

$$\tau_{Max} = \frac{T_2 \times r}{J} = \frac{454.86 \times d}{2 \times \left( \frac{\pi \times d^4}{32} \right)} = 72.5 \text{ MPa}$$

Despejando el diámetro se tiene:  $d = 32 \text{ mm}$

Por lo tanto se elige un eje de diámetro de  $1 \frac{1}{2} = 38.1 \text{ mm}$ .

$$\tau_{Max} = \frac{T_2 \times r}{J} = \frac{454.86 \times 0.0381}{2 \times \left( \frac{\pi \times 0.0381^4}{32} \right)} = 41.88 \text{ MPa}$$

Con un factor de seguridad de:

$$FS = \frac{145 \text{ MPa}}{41.88 \text{ MPa}} = 3.46$$

T2: Torque total.

$\tau_{Max}$ : Esfuerzo máximo permisible.

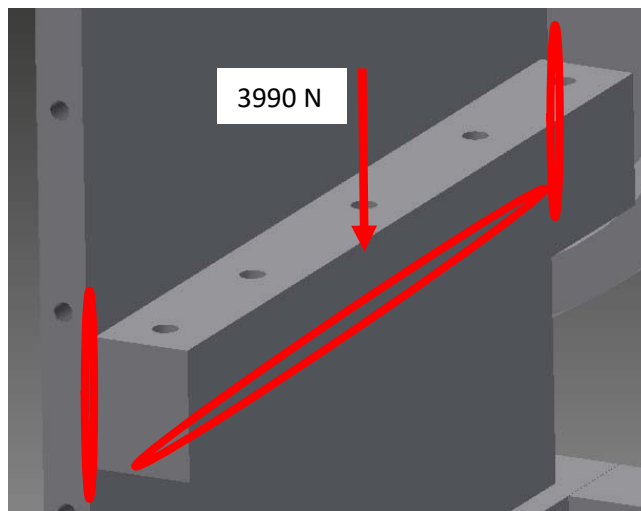
$d$ : Diámetro del eje.

$J$ : Segundo momento polar del área (circunferencia).

### **3.6.4. Soldadura en el soporte de cuchilla fija con la plancha gruesa de 12.7mm**

La unión del soporte de cuchilla fija con la plancha frontal de la maquina es por medio de soldadura, el material de soporte de cuchilla fija es de acero ASTM A36 - 350 mm x 51 mm x 38 mm. La zona a soldar está señalado con color rojo. Largo de 38 mm. En la figura 26 se muestra el soporte de la cuchilla fija unido a la plancha gruesa que es parte de la cámara de trituración.

*Figura 26: Soldadura de soporte de cuchilla fija*



Considerando la fuerza total de 3990 N

Esfuerzo cortante permisible para electrodo E60XX = 18 Ksi = 124.1 MPa. Tal como se muestra remarcado en la figura 27. Ver anexo 2-C.

Figura 27: Esfuerzos cortantes permisibles [12]

Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)							
	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal							
$t_f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h
Tamaño del cañete h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal						
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73

**Resistencia de la soldadura:** aplicando la ecuación 9, se obtiene el esfuerzo cortante primario de la soldadura:

Para obtener el área de la soldadura en la sección señalada en la figura 26, se emplea la ecuación contenida en el anexo 2-D, según el recuadro señalado en la figura 28, ya que es la forma de soldadura que se está trabajando.

Figura 28: Propiedades torsionales de la soldadura.

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
	$A = 0.70 \, hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.41 \, hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$

A: área de la sección de soldadura.

h: Cordón de soldadura.

d: Longitud de la soldadura.

Para hallar el área de la garganta se utiliza la ecuación contenida en la figura 30, anexo 2-D, además se utiliza un cordón de soldadura de 3 mm.

Hallado el esfuerzo cortante primario de la soldadura:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{3990 \text{ N}}{0.707 \times 0.003 \times (2 \times 0.051 + 0.35)} = 4.16 \text{ MPa}$$

$\tau'$ : Esfuerzo cortante primario de la soldadura en MPa.

F: Fuerza cortante en Newtons.

A: área total de la sección de la soldadura.

El siguiente paso es calcular la resistencia de la soldadura por el esfuerzo cortante secundario de la soldadura, aplicando la ecuación 6:

$$\tau'' = \frac{Mr}{J}$$

$\tau''$ : Esfuerzo cortante secundario.

M: momento o torque en N X m.

r: distancia el centroide en m.

J: segundo momento de inercia del área.

El momento total calculado:  $T_2 = 3990 \text{ N} \times 0.114 \text{ m} = 454.86 \text{ N} \times \text{m}$

La distancia r, es la distancia hacia el centroide, las posiciones al centroide se determinan según la ecuación señalada en la figura 27, recuadro rojo, anexo 2, utilizando la posición del centroide se calcula la distancia r1 y r2, con el teorema de Pitágoras.

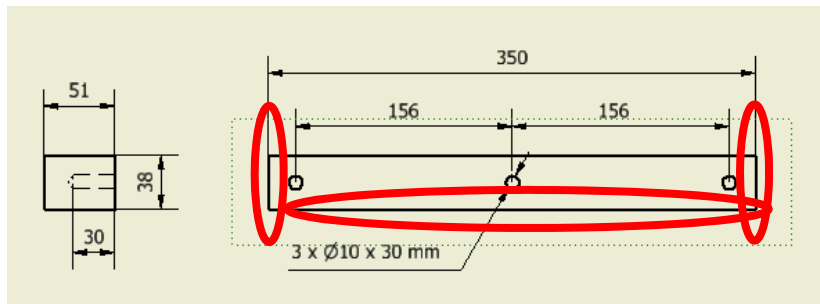
$$x = \frac{b^2}{2b + d}, \quad y = \frac{d}{2}$$

b: distancia entre los cordones de soldadura.

d: distancia del cordón de soldadura en los extremos.

En la figura 29 se muestra las medidas del soporte de la cuchilla fija, donde las partes remarcadas de color rojo están soldadas.

Figura 29: Medidas del soporte de cuchilla fija.



Centroide de la soldadura.

$$x = \frac{0.051^2}{2 \times 0.051 + 0.35} = 5.754 \text{ mm}, \quad y = \frac{0.35}{2} = 0.175 \text{ m}$$

Distancias entre las esquinas y el centroide de la soldadura.

$$r_1 = \sqrt{(51 - 5.754)^2 + 175^2} = 180.75 \text{ mm}$$

$$r_2 = \sqrt{(5.754)^2 + 175^2} = 175.1 \text{ mm}$$

El segundo momento de inercia del área se halla mediante la siguiente ecuación, contenida en el anexo 2-D, figura 28, recuadro rojo:

$$J = \frac{8b^3 + 6bd + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$$

$$J = \frac{8 \times 0.051^3 + 6 \times 0.051 \times 0.175 + 0.175^3}{12} - \frac{0.051^4}{2 \times 0.051 + 0.175} = 10.85 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Utilizando la ecuación 10, para hallar el esfuerzo cortante secundario, usando la mayor distancia ( $r_1$ ):

$$\tau'' = \frac{454.86 \text{ Nxm} \times 0.18075}{10.85 \times 10^{-3} \text{ m}^4} = 7577.5 \text{ Pa}$$

Por lo tanto, el mayor esfuerzo se da con el esfuerzo cortante primario de 4.16 MPa.

Esfuerzo cortante permisible en la garganta de la soldadura: 124.1 MPa [12].

$$FS = nd = \frac{124.1 \text{ Mpa}}{4.16 \text{ MPa}} = 29.83$$

### 3.6.5. Calculo de juego de filos de las cuchillas fija y movil

Se aplica la ecuación 7 para hallar el juego entre cuchillas:

$$J = K \times e.$$

$$J = 0.1 \times 0.6 \text{ mm} = 0.06 \text{ mm}$$

J: Juego de filos.

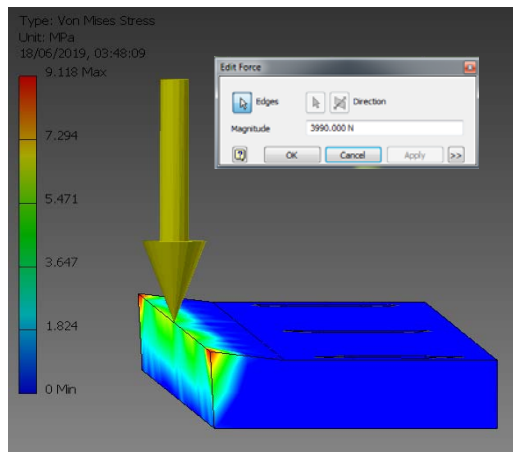
K: 0.05 mm – 0.1 mm

e: Espesor del PET (0.6 mm)

### 3.6.6. Simulación de la cuchilla fija y móvil acero AISI D2

Mediante el software Inventor 2015, se simuló la cuchilla con una fuerza de 3990 N dando como resultado un esfuerzo máximo de 11.2 MPa. En la figura 30 se muestra una simulación de una cuchilla, ya sea fija o móvil, sometido a una fuerza de 3990 N.

*Figura 30: simulación de esfuerzo en las cuchillas.*



Donde el máximo esfuerzo hallado es de 9.1 MPa, que es mucho menor que 1650 MPa que es el esfuerzo de resistencia a la compresión para el material AISI D2.

### 3.6.7. Velocidad

Según [13], se recomienda una velocidad de trituración entre 1.3 – 83 RPM, por lo cual se escoge a 76 RPM para el diseño de la máquina.

### 3.6.8. Potencia de motor

Según la ecuación 1, la potencia del motor es:

$$Wt = \frac{(60000 \times H)}{(\pi \times d \times n)}$$

$$H = \frac{(\pi \times d \times n \times Wt)}{(60000)} = \frac{(\pi \times 228 \text{ mm} \times 76 \text{ rpm} \times 3.99 \text{ KN})}{(60000)} = 3.62 \text{ KW} = 4.85 \text{ HP}$$

Donde:



Wt = carga transmitida, 3.99 kN.

H = potencia, kW.

d = diámetro del eje con las cuchillas (228 mm).

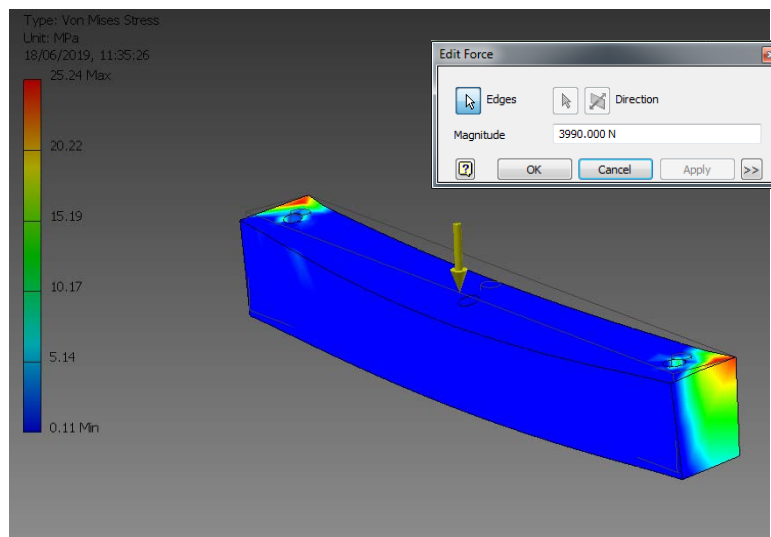
n = velocidad, 76 RPM.

Según este resultado se necesitara un motor de 5 HP de potencia. Además por tener 76 rpm en el eje conducido, el motor eléctrico debe tener una reducción, con lo cual se recomienda usar un motorreductor con salida de 85 rpm.

### **3.6.9. Soporte de cuchillas**

Utilizando el software Inventor 2015, se simulo el soporte de cuchillas fijas tomando como partes fijas las soldaduras de 3 mm, carga de 3990 N, según la figura 31.

*Figura 31: simulación de esfuerzos en el soporte de cuchillas fijas.*



El máximo esfuerzo hallado con la simulación es de 25.24 MPa. Lo cual es mucho menor que 250 MPa (Esfuerzo de fluencia), logrando un factor de seguridad de 9.9. Por lo tanto el material puede soportar el esfuerzo.

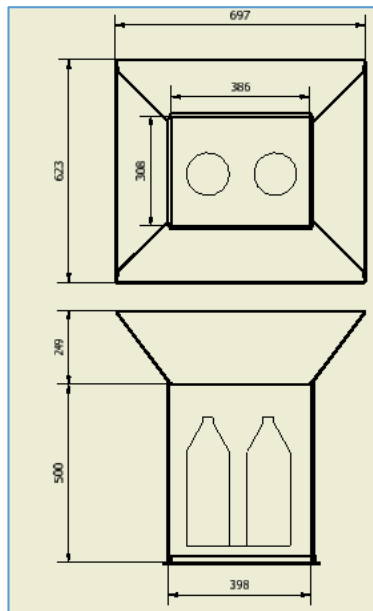
### **3.6.10. Diseño de la tolva**

La capacidad real de la tolva es de 2.5 Kg, aproximadamente, ya que el material PET reciclado ocupa gran volumen y poco peso. A pesar de ello, se diseñó la tolva bajo otras condiciones para prever daños de abolladuras o golpes, el material empleado es acero ASTM A-36, PL de 1.5mm, se simulo con 8 fuerzas de 100 N cada una, tal como se muestra

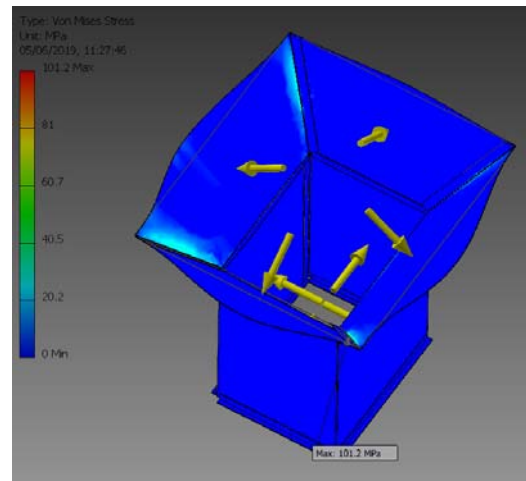
en la figura 33, obteniendo un esfuerzo máximo de 101.2 MPa, lo cual es mucho menor que 250 MPa que es el esfuerzo máximo de tensión para el material ASTM A-36. En la figura 32 se muestra esta simulación.

La dimensión del ducto de ingreso de la tolva a la cámara de trituración, fue diseñado para que ingresen las botellas recicladas más grandes que hay en el mercado local, botellas de tres litros de capacidad, altura y diámetro de 36 y 12 cm respectivamente, tal como se muestra en la figura 32, donde los círculos representan a las botellas dentro de la tolva en la vista horizontal.

*Figura 32: simulación de esfuerzo en las cuchillas*



*Figura 33: Dimensionado de la tolva.*



Las juntas se sueldan a doble filete en todo el largo de la junta con electrodo 6011.

### **3.6.11. Selección de la cadena**

Tomando como parámetros de entrada la potencia y las RPM del piñón:

$P = 5 \text{ HP}$ .

RPM piñón = 85.

Según la tabla 2, ingresando los parámetros de entrada de potencia y RPM del piñón, se elige una cadena de paso 1" y con un piñón motriz de 17 dientes. Para obtener una velocidad de 76 RPM en el piñón conducido se necesita que tenga 19 dientes. Esta transmisión reduce la velocidad de 85 RPM a 76 RPM.

Tabla n. 2: Tabla de potencias de cadenas en HP [16]

RPM del Piñon	Paso 3/4"					Paso 1"				
	Veloc. Max 1700 RPM					Veloc. Max 1250 RPM				
	Dientes					Dientes				
	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23
50	0.90	1	1.10	1.25	1.35	2,40	2,85	3,05	3,40	3,70
100	1.60	1.85	2.10	2.30	2.50	4,50	5,10	5,70	6,30	6,85
200	3	3.30	3.70	4.15	4.50	8	9	10	11	12,10
400	4.90	5.60	6.30	6.90	7.60	13	14,80	16,50	18,30	20
600	6.50	7.40	8.30	9.10	10	15,80	18	20,60	22,40	24,50
950	7.70	8.70	9.70	10.80	11.80	17	20	23	25	27
1500	8	9	10	11	12					
1700	8	9	10	11	12					

### 3.6.12. Simulación de la estructura

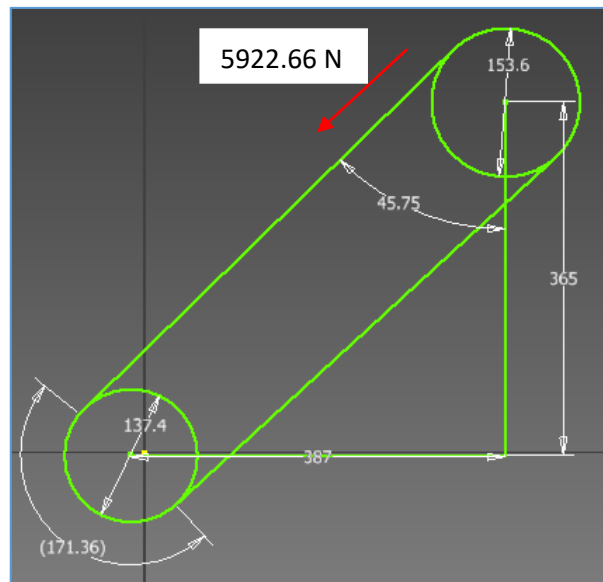
Hallando la fuerza en diagonal que ejerce el motor a la estructura, en la figura 34 se muestra las dimensiones y ubicación de los piñones:

$$454.86 \text{ N} \times m = 0.0768 \text{ m} \times F1$$

$$F1 = 5922.66 \text{ N}$$

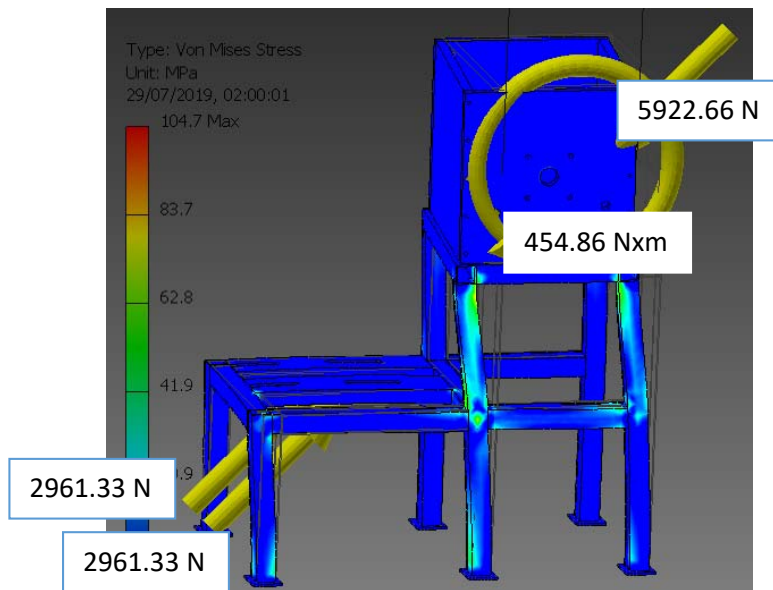
F1: fuerza que ejerce el motor a la estructura de la máquina.

Figura 34: Dimensión, ubicación de los piñones y representación de la fuerza del motor.



Se simula en el software Inventor 2015 la estructura de la máquina, tal como se muestra en la figura 35:

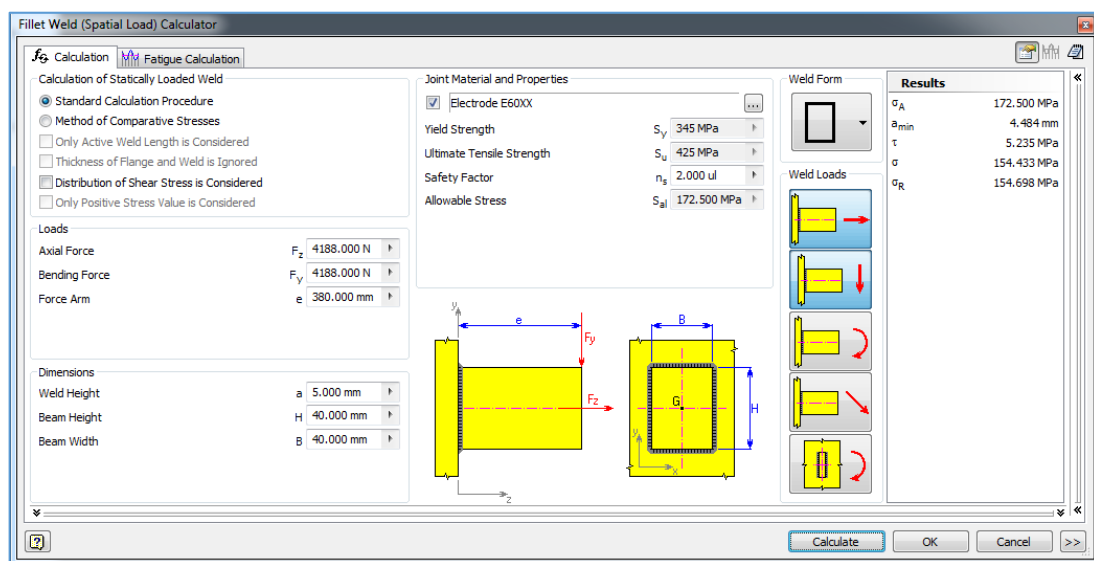
Figura 35: Simulación de la estructura de la maquina



El esfuerzo máximo hallado con la simulación es de 104.7 MPa, lo cual es menor que 250 MPa (esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36, para esfuerzos en tensión), con un factor de seguridad de 2.38.

En la figura 36 se simula una junta de soldadura de la estructura de la máquina, compuesta por tubos cuadrados de 40 mm x 40 mm x 2 mm, en todo el contorno. Esta simulación se realiza con dos fuerzas de 4188 N, tal como se muestra:

Figura 36: Simulación de soldadura en las juntas de la estructura de tubos.

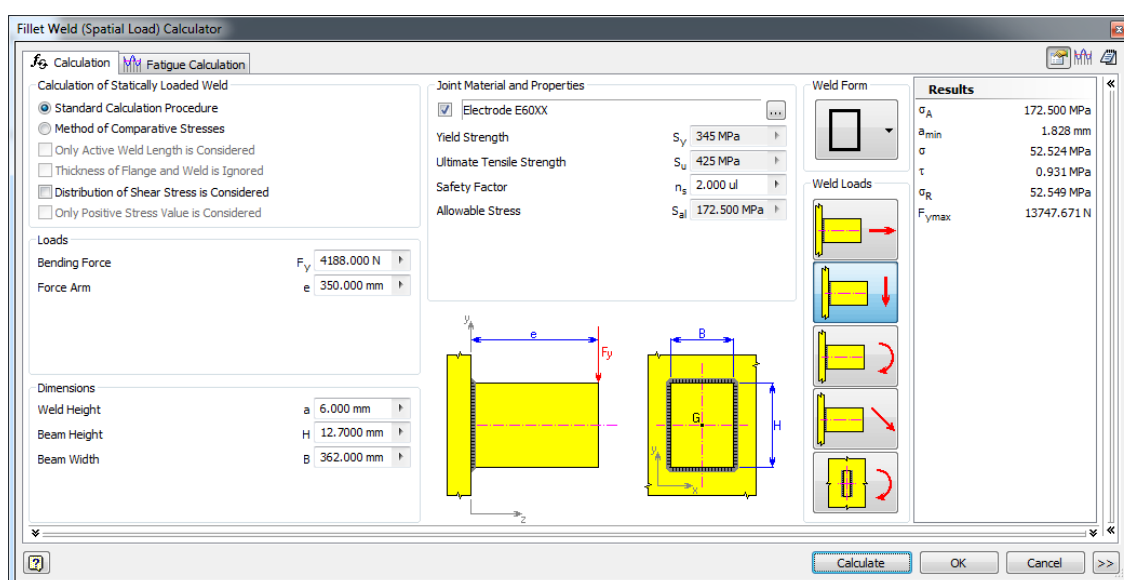


Los esfuerzos hallados son menores que los esfuerzos de fluencia de tensión y cortante para el material de aporte 6011, el esfuerzo máximo hallado es de 154.4 MPa en tensión,

comparándolo con el esfuerzo de cedencia a la tensión de 345 MPa, se obtiene un factor de seguridad de 2.23. Por lo tanto se necesita una soldadura de filete igual a 5 mm en todo el contorno de cada junta soldada, con electrodo 6011.

Para calcular el cordón de soldadura en la base de la cámara de trituración de la máquina, se simula el componente más sensible a estas fuerzas, en este caso es la plancha frontal con una dimensión de 350 mm x 362 mm x 19.05 mm de espesor, con una fuerza de 4188N, tal como se muestra en la figura 36, donde el esfuerzo máximo de tensión hallado es de 52.524 MPa, comparándolo con el esfuerzo de cedencia a la tensión del electrodo que es de 345 MPa, se obtiene un factor de seguridad de 6.57, esta simulación se observa en la figura 37.

Figura 37: Simulación de soldadura en las juntas de la cámara de trituración.



Por lo tanto se necesita una soldadura de filete igual a 6 mm, en todo el contorno de la base de la plancha frontal, asimismo en la plancha lateral, con electrodo 6011.

### 3.6.13. Tolerancias

Para los ajustes del agujero de la máquina con el eje y el agujero del soporte de cuchillas móviles con el eje, se considera un ajuste de 38.1 H7/g6, para tener un ajuste con juego, tal como se demuestra a continuación, ver tablas de tolerancia en los anexos 2-D y 2-E:

**Agujero 38.1H7**

$$T = 25 \text{ um}$$

$$T = D_s - D_i$$

$$D_i = 0 \text{ um}$$

$$D_s = 25 + 0 = 25 \text{ um}$$

**Eje 38.1g6**

$$T = 16 \text{ um}$$

$$T = d_s - d_i$$

$$d_s = -9 \text{ um}$$

$$d_i = -9 - 16 = -27 \text{ um}$$

$$CM = 38.1 + 0.025 = 38.125 \text{ mm}$$

$$cM = 38.1 - 0.009 = 38.091 \text{ mm}$$

$$Cm = 38.1 + 0 = 38.1 \text{ mm}$$

$$cm = 38.1 - 0.027 = 38.073 \text{ mm}$$

$$CM - cm = 38.125 - 38.073 = 0.052 \text{ mm (Juego máximo)}$$

$$Cm - cM = 38.1 - 38.091 = 0.009 \text{ mm (Juego mínimo)}$$

**3.7. Planos**

Los planos de detalle y ensamble se encuentran en el anexo 2-F.

## **CAPITULO 4**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Todos los cálculos, análisis de esfuerzos, simulaciones e información recopilada, dan como resultado el diseño de una máquina trituradora de botellas PET, con una potencia de 5 HP, 76 RPM y una fuerza de 3990 N. El diseño de esta máquina obedece a un modelo de máquina industrial que permite obtener un tamaño de partícula de acuerdo a la criba o malla utilizada, en este caso es de 5 mm. La máquina diseñada se muestra en la figura 38, en la figura 39 se observa una vista de corte de la máquina.

*Figura 38: Máquina trituradora diseñada.*

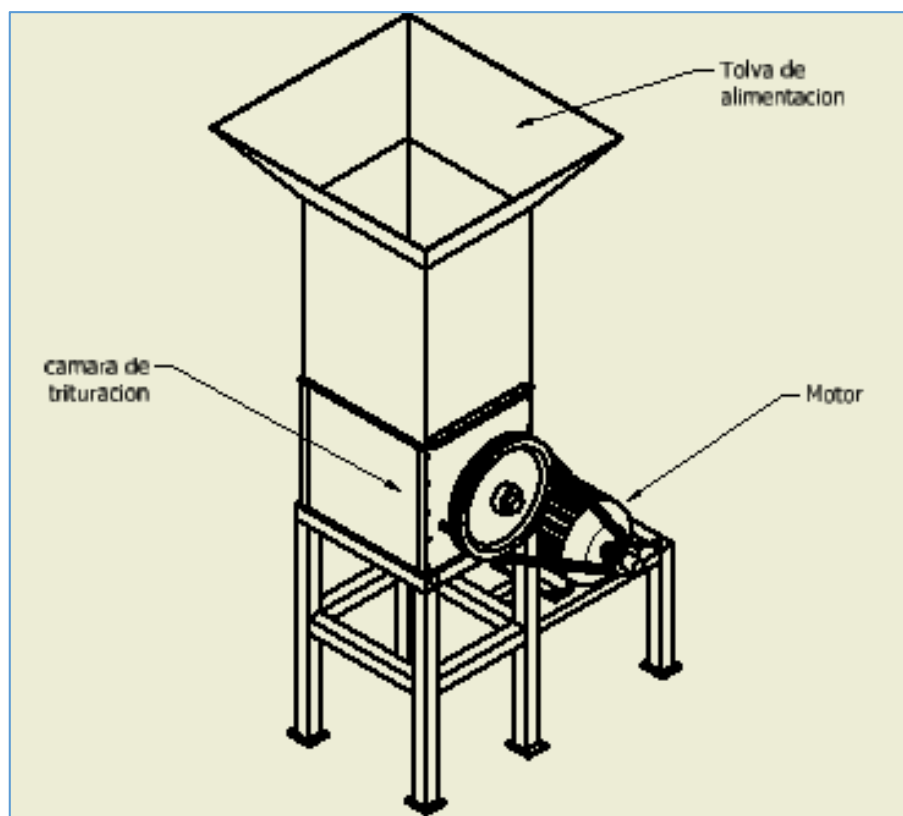
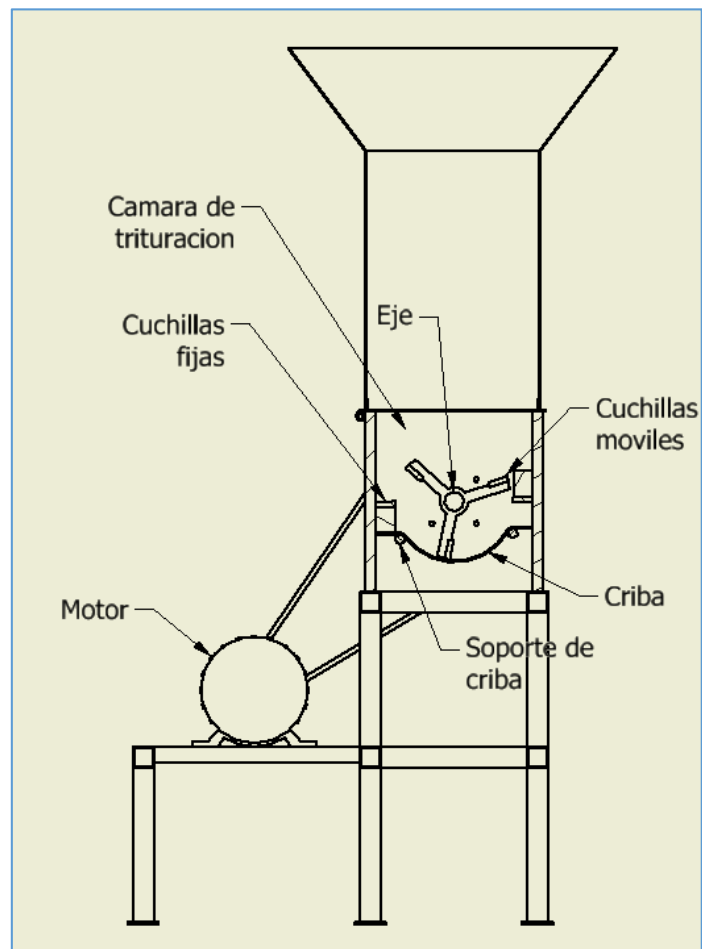


Figura 39: Máquina trituradora rotatoria (Corte de vista lateral de la máquina trituradora diseñada).



En la figura 39 se puede apreciar los componentes que se encuentran dentro de la cámara de trituración, como son: el eje ensamblado con los soportes y las cuchillas móviles, las cuchillas fijas, los soportes de la cuchilla fija y la criba o malla que separa el material PET cortado que tenga la medida requerida.



## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones:**

1. Se diseñó un prototipo de máquina trituradora de botellas PET, cuyos componentes son elaborados con acero ASTM A36, a excepción de las cuchillas fijas y móviles que serán fabricadas con el acero AISI D2, que es adecuado para cortar diferentes tipos de materiales.
2. Se determinó los parámetros de fuerza de 3990 Newton y velocidad 76 RPM, por consiguiente, se necesita un motor eléctrico de 5 HP de potencia.
3. Se determinó las dimensiones de los componentes de la máquina en función de un factor de seguridad mayor a dos, los esfuerzos máximos obtenidos son: torsión 41.88 MPa. y tensión 104.74 MPa.
4. Se desarrolló los planos de fabricación del prototipo de máquina trituradora de botellas PET, cuyas medidas externas son: Largo: 945 mm, ancho: 694 mm, alto: 1698 mm.

### **Recomendaciones:**

1. Realizar análisis estructural usando el software ANSYS.
2. Determinar la capacidad de producción de material triturado con la máquina en funcionamiento.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] M. C. Cisneros y J. R. Sánchez, “Plan de Negocio para Planta Recicladora de PET”, Trabajo de investigación para optar el grado académico de magister en administración, Univ. Del Pacifico, Lima, Perú, 2014.
- [2] A. P. Vásconez. “Diseño y Simulación de una Máquina Trituradora de Plásticos de 15 kg/h para el Laboratorio de Conformado de la Facultad de Ingeniería Mecánica”, Proyecto previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2013.
- [3] C. Villacís, J. Pérez y M. Acosta (2014) “Diseño y construcción de un prototipo experimental de una máquina perforadora de botellas de PET para la empresa NEUMAC S.A.”, Artículo de investigación, Univ. De las Fuerzas Armadas ESPE, Pichincha, Ecuador, 2014.
- [4] L. A. García, et al., “Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET”, artículo de investigación, Univ. Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, México, 2014.
- [5] R. Darshan, S. Gururaja, “Design and fabrication of crusher machine for plastic wastes”, *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, vol.15, no. 06, pp 1 – 4, Octubre 2017.
- [6] L. Freire y C. Gonzales, “Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET”, Tesis de grado para la obtención de título de Ingeniero, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2013.
- [7] T. J. Pecorini y R. W. Hertzbert, “The fracture toughness and fatigue crack propagation behaviour of annealed PET”, Reserch article, Department of material science and engineering, Lehigh University, Bethlehem, USA, 1992.
- [8] J.P. Vela, et al. “Chapas plásticas de tereftalato de polietileno PET”, monografía, Univ. Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, Argentina, 2003.
- [9] D. Movilla, A. C. Raposeiras y J. Olavarría “Effects of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) on Stiffness of Hot Asphalt Mixtures”, Artículo de investigación, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2018.
- [10] L. Mansilla, M. Ruiz, “Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster”, artículo, Univ. De Lima, Lima, Perú, 2009.
- [11] “Que es polietileno-Tereftalato?”, Secretaría del Medio Ambiente, México, 2018 [En línea]. Disponible en: [http://sma.edomex.gob.mx/que\\_es\\_polietilenotereftalato](http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato). [Accedido: 1-abr-2019].

- [12] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, "*Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*", Capítulos 3 y 9. Octava edición. The McGraw-Hill, 2008.
- [13] JANFREX - Trituradoras y molinos para plásticos, México, 2018, [En línea], Disponible en: <http://www.janfrex.mx/site/trituradoras-y-molinos-para-plastico/>, [Accedido: 1-abr-2019].
- [14] B. Barriga, "*Métodos de diseño en Ing. Mecánica*", Capítulo 4, Departamento de Ingeniería de la Universidad Católica del Perú, Lima – Peru, 2013.
- [15] Mat Web – Material property data, "Bohler-Uddeholm AISI D2 Cold Work Tool Steel", (SD) [En línea], disponible en: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=bcbf506c860444a08a1ff23635b6815f>, [Accedido: 2-abr-2019].
- [16] G. J. Flores, "Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frio", Tesis de Maestría, Univ. Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Monterrey, México, 1999.
- [17] B. Zierenberg, "Arbeitsmaterial für den Lernenden", Institut für berufliche Entwicklung e.V., Berlin – Alemania, (SD) [En línea], disponible en: <http://www.nzdl.org/gsd/mod?e=d-00000-00---off-0gtz--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL1.3&d=HASH01e339ab3514bacd05f784f2.6t>, [Accedido: 2-abr-2019].
- [18] J.C Lopez, "Cadenas – Proyectos de ingeniería mecánica", Guatemala, (SD) [En línea], disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/4.pdf>, [Accedido: 3-abr-2019].

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Ficha del trabajo de investigación



#### ANEXO 4

##### FICHA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD: INGENIERÍA  
CARRERA: Inv. MECÁNICA

1. Título del Trabajo de Investigación propuesto

Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET

2. Indica la o las competencias del modelo del egresado que serán desarrolladas fundamentalmente con este Trabajo de Investigación:

Competencia de diseño

3. Número de alumnos a participar en este trabajo. (máximo 2)

Número de alumnos: 1

4. Indica si el trabajo tiene perspectivas de continuidad, después de obtenerse el Grado Académico d Bachiller, para seguirlo desarrollando para la titulación por la modalidad de Tesis o no.

Si

5. Enuncia 4 o 5 palabras claves que le permitan realizar la búsqueda de información para el Trabajo en Revistas Indizadas en WOS, SCOPUS, EBSCO, SciELO, etc., desde el comienzo del curso y obtener así información de otras fuentes especializadas.

Ejemplo:

Palabras Claves	REPOSITORIO 1	REPOSITORIO 2	REPOSITORIO 3
1.- PET	SCIENCE DIRECT		
2.- RECYCLED PET	HINDAWI		
3.- BOTELLAS PET	REDBALY		
4.- TRITURADORA	REVISTAS	BIBDIGITAL	RESEARCH GATE
5.-			

6. Como futuro asesor de investigación para titulación colocar:

(Indique sus datos personales)

- a. Nombre: ING. MAURICIO FELIX  
b. Código docente: \_\_\_\_\_  
c. Correo institucional: \_\_\_\_\_  
d. Teléfono: \_\_\_\_\_

7. Especifica si el Trabajo de Investigación:

(Marca con un círculo la que corresponde, puede ser más de una)

- a. Contribuye a un trabajo de investigación de una Maestría o un doctorado de algún profesor de la UTP.  
b. Está dirigido a resolver algún problema o necesidad propia de la organización.  
c. Forma parte de un contrato de servicio a terceros.

d. Corresponde a otro tipo de necesidad o causa (explicar el detalle):

El presente trabajo de investigación contribuye a mejorar el proceso de reciclado en las empresas recicladoras.

8. Explica de forma clara y comprensible los objetivos o propósitos del trabajo de investigación

Diseñar un prototipo de máquina trituradora de botellas PET  
 Determinar los parámetros de velocidad y fuerza  
 Determinar las dimensiones de los componentes de la máquina.  
 Elabrar los planos de fabricación de la máquina.

9. Brinde una primera estructuración de las acciones específicas que debe realizar el alumno para que le permita iniciar organizadamente su trabajo

- Tener clara el tema y objetivos del trabajo de investigación  
 - Conseguir información que ayude a desarrollar el tema de investigación.

10. Incorpora todas las observaciones y recomendaciones que consideres de utilidad para el alumno y a los profesores del curso con el fin de que desarrollen con éxito todas las actividades

Recomiendo dedicar el tiempo necesario para desarrollar el tema elegido.  
 Recomiendo que el tema elegido sea de agrado para el alumno

11. Fecha y docente que propone la tarea de investigación

Fecha de elaboración de ficha (día/mes/año): 26 / 03 / 2018

Docente que propone la tarea de investigación: ING. CEDRON EULOGIO

12. Esta Ficha de Tarea de Investigación ha sido aprobada como Tarea de Investigación para el Grado de Bachiller en esta carrera por:

(Sólo para ser llenada por la Facultad)

Nombre: \_\_\_\_\_

Código: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Fecha de aprobación de ficha (día/mes/año): \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## Anexo 2-A

### GLOSARIO

**Área:** concepto que permite asignar una medida a tamaño de una superficie, expresada en unidades de superficie, ejemplo  $m^2$ .

**Segundo momento del área:** propiedad geométrica de la sección transversal de elementos estructurales, junto a las propiedades del material determina la resistencia máxima de un elemento sometido a flexión.

**Inventor:** Autodesk Inventor es un software que se utiliza para modelar sólidos generalmente en 3D producido por la empresa AutoDesk.

**Potencia:** trabajo que se realiza en la unidad de tiempo. Se mide normalmente en caballos de fuerza o Watts.

**Trabajo (física):** desplazamiento de un objeto debido a una fuerza.

**Fuerza:** capacidad de realizar trabajo o mover objetos.

**Momento de una fuerza:** magnitud física obtenido como producto del vector posición en el punto de aplicación de la fuerza, multiplicado por el vector fuerza. También es denominado momento dinámico, momento o torque.

**Energía mecánica:** capacidad de un cuerpo de generar movimiento y realizar un trabajo mecánico.

**Factor de seguridad:** margen de seguridad que se requiere para el diseño de una estructura.

**PET:** Tereftalato de polietileno, material adecuado para producir botellas o contenedores de bebidas y alimentos.

**Centroide:** centro geométrico de un área o figura.

**Esfuerzo de cedencia:** esfuerzo donde el material sometido empieza a deformarse plásticamente, no regrese a su estado original.

**ASTM 36:** acero estructural al carbono comúnmente utilizado en la construcción de estructuras metálicas.

**Trituración:** proceso de reducción de tamaño.

**Prototipo:** primer ejemplar construido.

**Tolerancia dimensional:** definición de la metrología industrial para elaborar piezas, dada una magnitud, indica el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud.



## Anexo 2-B: Propiedades típicas de algunos materiales [12].

A-12

### APÉNDICE B. Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en ingeniería<sup>1,5</sup> (Unidades SI)

Material	Densidad, kg/m <sup>3</sup>	Resistencia última			Cedencia <sup>3</sup>		Módulo de elasticidad, GPa	Módulo de rigidez, GPa	Coeficiente de expansión térmica, 10 <sup>-6</sup> /°C	Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm
		Tensión, MPa	Compresión, <sup>2</sup> MPa	Cor-tante, MPa	Tensión, MPa	Cor-tante, MPa				
<b>Acero</b>										
Estructural (ASTM-A36)	7 860	400			250	145	200	77.2	11.7	21
Alta resistencia-aleación baja										
ASTM-A709 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2	11.7	21
ASTM-A913 Grado 450	7 860	550			450		200	77.2	11.7	17
ASTM-A992 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2	11.7	21
Templado										
ASTM-A709 Grado 690	7 860	760			690		200	77.2	11.7	18
Inoxidable, AISI 302										
Laminado en frío	7 920	860			520		190	75	17.3	12
Recocido	7 920	655			260	150	190	75	17.3	50
Acero de refuerzo										
Resistencia media	7 860	480			275		200	77	11.7	
Alta resistencia	7 860	620			415		200	77	11.7	
<b>Fundición</b>										
Fundición grts										
4.5% C, ASTM A-48	7 200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Hterro fundido										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7 300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
<b>Aluminio</b>										
Aleación 1100-H14										
(99% Al)	2 710	110		70	95	55	70	26	23.6	9
Aleación 2014-T6	2 800	455		275	400	230	75	27	23.0	13
Aleación 2024-T4	2 800	470		280	325		73		23.2	19
Aleación 5456-H116	2 630	315		185	230	130	72		23.9	16
Aleación 6061-T6	2 710	260		165	240	140	70	26	23.6	17
Aleación 7075-T6	2 800	570		330	500		72	28	23.6	11
<b>Cobre</b>										
Libre de oxígeno										
(99.9% Cu)										
Recocido	8 910	220		150	70		120	44	16.9	45
Endurecido	8 910	390		200	265		120	44	16.9	4
Latón amarillo										
(65% Cu, 35% Zn)										
Laminado en frío	8 470	510		300	410	250	105	39	20.9	8
Recocido	8 470	320		220	100	60	105	39	20.9	65
Latón rojo										
(85% Cu, 15% Zn)										
Laminado en frío	8 740	585		320	435		120	44	18.7	3
Recocido	8 740	270		210	70		120	44	18.7	48
Estaño bronce	8 800	310			145		95		18.0	30
(88 Cu, 8 Sn, 4 Zn)										
Manganeso bronce	8 360	655			330		105		21.6	20
(63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)										
Alumntno bronce	8 330	620	900		275		110	42	16.2	6
(81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)										

(La tabla continúa en la página A-13)

**Anexo 2-C: Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete [12].**

**Tabla 9-6**

Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete

Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)

	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parál							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal							
$t_f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h

Tamaño del cable h, pulg

	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal						
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59

Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$	Hasta $\frac{1}{2}$
Mayor que $\frac{1}{2}$	Hasta $\frac{3}{4}$
†Mayor que $\frac{3}{4}$	Hasta $1\frac{1}{2}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$	Hasta $2\frac{1}{4}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$	Hasta 6
Mayor que 6	$\frac{5}{16}$

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.

\*El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no puede ser menor a  $\frac{3}{16}$  pulg.

†Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no puede ser mayor que la soldadura de filete de  $\frac{5}{16}$  pulg por cada  $\frac{3}{4}$  pulg de material.

\*En realidad, las soldaduras de filete fueron ensayadas por el AWS Task Committee.

$t_f = 0.707h_{\text{par}}$

Fuente: Adaptada de Omer W. Blodgett (ed.), Stress Allowables Affect Weldment Design, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo de 1991, p. 3. Reproducido con autorización de Lincoln Electric Company.

Esesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$
Mayor que $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
†Mayor que $\frac{3}{4}$	$\frac{5}{16}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
Mayor que 6	$\frac{5}{8}$

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.

\*El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no puede ser menor a  $\frac{3}{16}$  pulg.

†Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no puede ser mayor que la soldadura de filete de  $\frac{5}{16}$  pulg por cada  $\frac{3}{4}$  pulg de material.

**Anexo 2-D: Amplitud de la zona de tolerancia según el diámetro y el grado de calidad.**

**Anexo 2-E: diferencias fundamentales para ejes y agujeros en micras.**

CALIDADES  $\mu\text{m}$  (1000  $\mu\text{m}$  = 1 mm)

Grado Tolerancia	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
d ≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
3 < d ≤ 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
6 < d ≤ 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
10 < d ≤ 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
18 < d ≤ 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
30 < d ≤ 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
50 < d ≤ 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
80 < d ≤ 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
120 < d ≤ 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
180 < d ≤ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
250 < d ≤ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
315 < d ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
400 < d ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
500< d ≤ 630	Muy alta precisión		9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
630 < d ≤ 800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
800 < d ≤ 1000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3300	5600	9000	14000
1000 < d ≤			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
1250 < d ≤			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
1600 < d ≤			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
2000< d ≤			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
2500< d ≤			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000
				Equipos metrología y piezas de gran precisión				Piezas o elementos que han de ajustar						Superficies libres						

Diferencia fundamental	Desviación inferior <b>Ei</b>											
Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS
Calidad	Todas las calidades											
$d \leq 3$	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	
$3 < d \leq 6$	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	
$6 < d \leq 10$	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	
$10 < d \leq 14$	290	150	95		50	32		16		6	0	
$14 < d \leq 18$												
$18 < d \leq 24$	300	160	110		65	40		20		7	0	
$24 < d \leq 30$												
$30 < d \leq 40$	310	170	120		80	50		25		9	0	
$40 < d \leq 50$	320	180	130									
$50 < d \leq 65$	340	190	140		100	60		30		10	0	
$65 < d \leq 80$	360	200	150									
$80 < d \leq 100$	380	220	170		120	72		36		12	0	
$100 < d \leq 120$	410	240	180									
$120 < d \leq 140$	460	260	200		145	85		43		14	0	
$140 < d \leq 160$	520	280	210									
$160 < d \leq 180$	580	310	230									
$180 < d \leq 200$	660	340	240									
$200 < d \leq 225$	740	380	260		170	100		50		15	0	
$225 < d \leq 250$	820	420	280									
$250 < d \leq 280$	920	480	300		190	110		56		17	0	
$280 < d \leq 315$	1050	540	330									
$315 < d \leq 355$	1200	600	360		210	125		62		18	0	
$355 < d \leq 400$	1350	680	400									
$400 < d \leq 450$	1500	760	440		230	135		68		20	0	
$450 < d \leq 500$	1650	840	480									

DESVIACIÓN =  $\pm(Tn)/2$ , donde n es el valor de IT

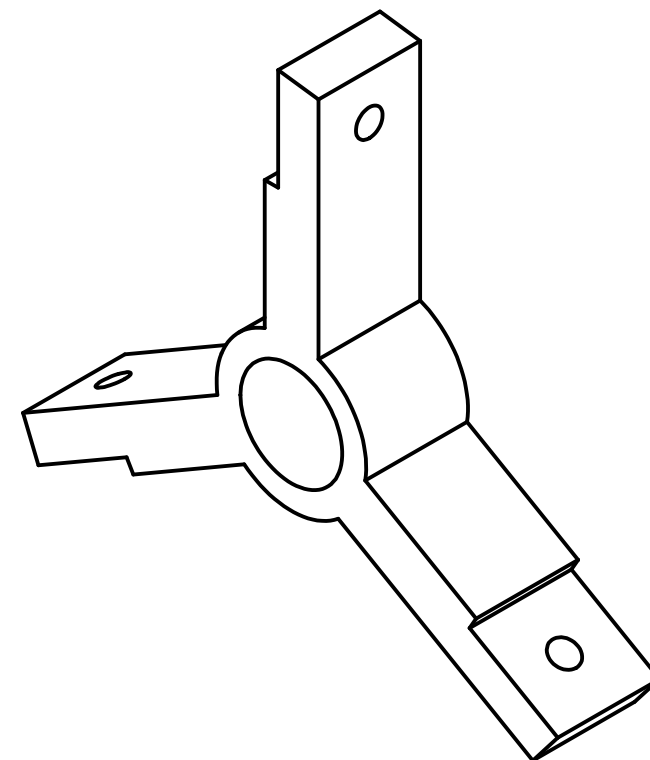
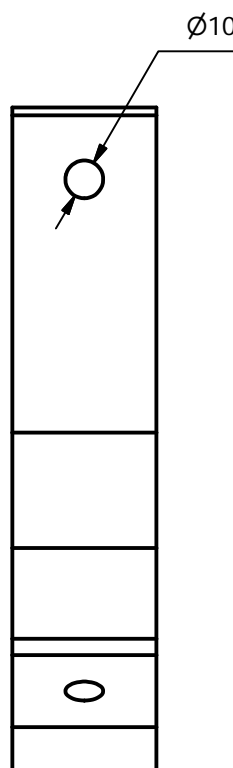
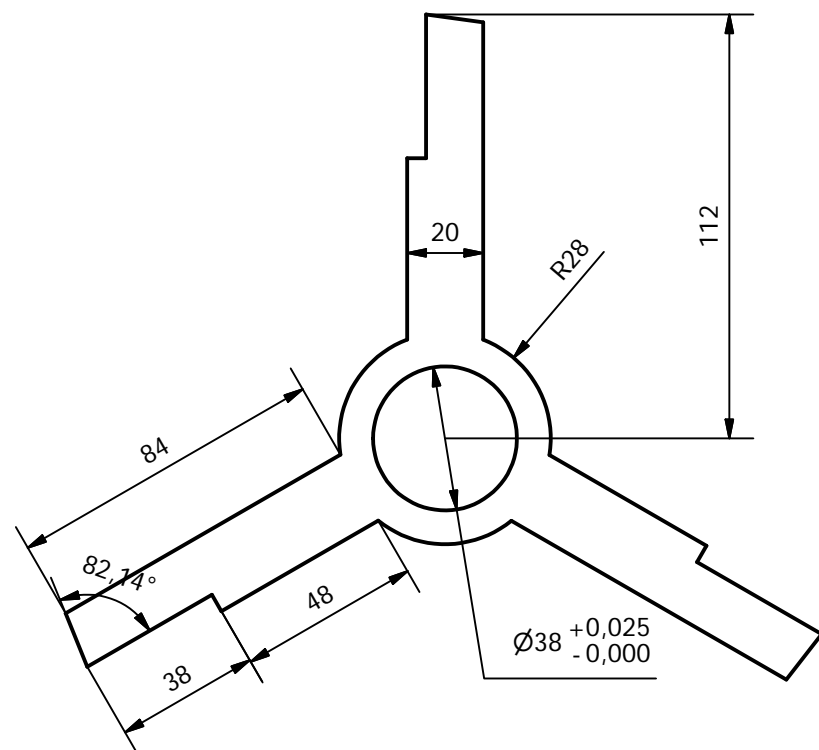
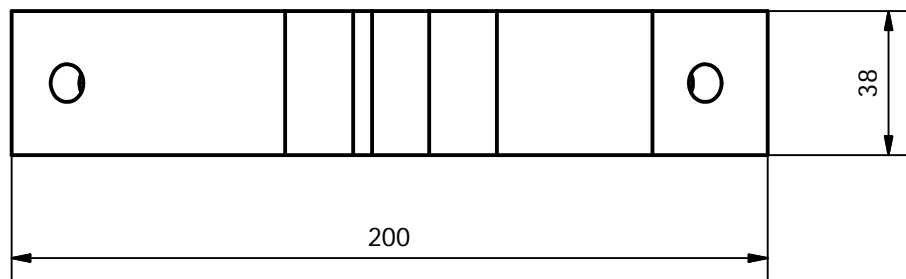
Diferencia fundamental	Desviación superior <b>ds</b>											
Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
Calidad	Todas las calidades											
$d \leq 3$	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	
$3 < d \leq 6$	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	
$6 < d \leq 10$	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	
$10 < d \leq 14$	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	
$14 < d \leq 18$												
$18 < d \leq 24$	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	
$24 < d \leq 30$												
$30 < d \leq 40$	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	
$40 < d \leq 50$	-320	-180	-130									
$50 < d \leq 65$	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	
$65 < d \leq 80$	-360	-200	-150									
$80 < d \leq 100$	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	
$100 < d \leq 120$	-410	-240	-180									
$120 < d \leq 140$	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	
$140 < d \leq 160$	-520	-280	-210									
$160 < d \leq 180$	-580	-310	-230		-170	-100		-50		-15	0	
$180 < d \leq 200$	-660	-340	-240									
$200 < d \leq 225$	-740	-380	-260		-190	-110		-56		-17	0	
$225 < d \leq 250$	-820	-420	-280									
$250 < d \leq 280$	-920	-460	-300		-210	-125		-62		-18	0	
$280 < d \leq 315$	-1050	-540	-330									
$315 < d \leq 355$	-1200	-600	-360		-230	-135		-68		-20	0	
$355 < d \leq 400$	-1350	-680	-400									
$400 < d \leq 450$	1500	-760	-440									
$450 < d \leq 500$	1650	-840	-480									

Para la posición js,  $di = -IT/2$  y  $ds = IT/2$



## **Anexo 2-F: Planos**

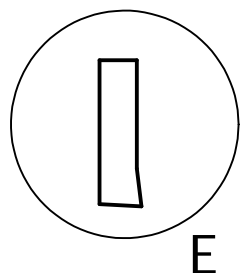
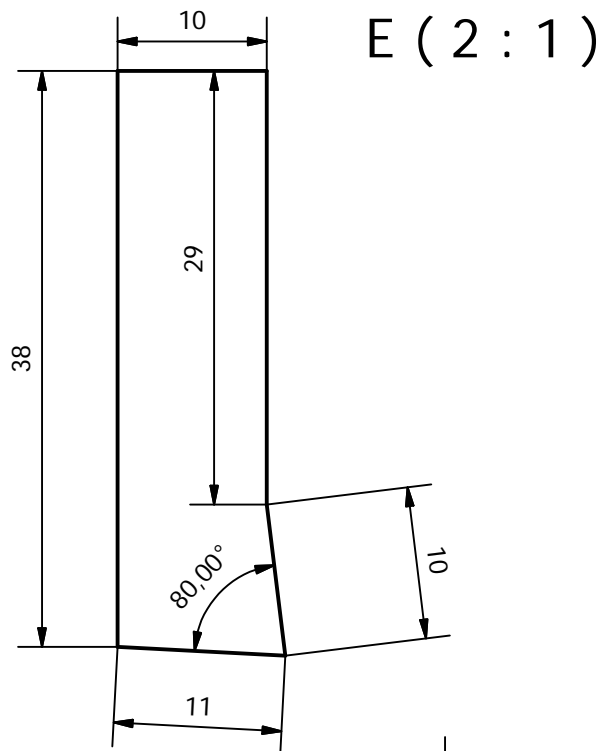
### **Lista de planos**

- 1. Plano soporte de cuchillas móviles**
- 2. Cuchillas AISI D2**
- 3. Ensamble de eje con cuchillas móviles**
- 4. Soporte de cuchillas fijas**
- 5. Plano de corte y dobles de PL tolva base**
- 6. Criba 5 mm**
- 7. Ensamble de cámara de trituración.**
- 8. Plano de corte y dobles de PL tolva**
- 9. Plano de ensamble tolva**
- 10. Plano de estructura de maquina**
- 11. ensamble completo de máquina trituradora de botellas PET.**

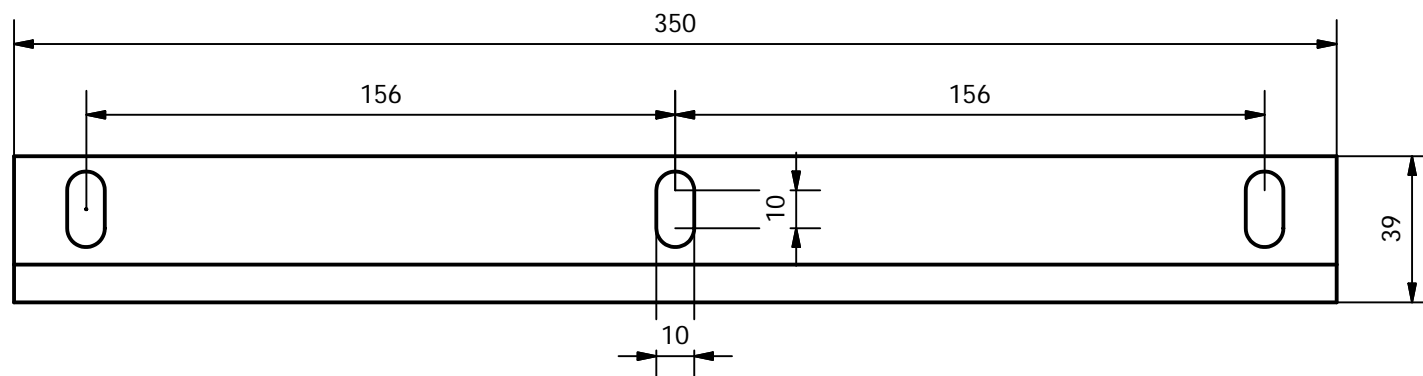
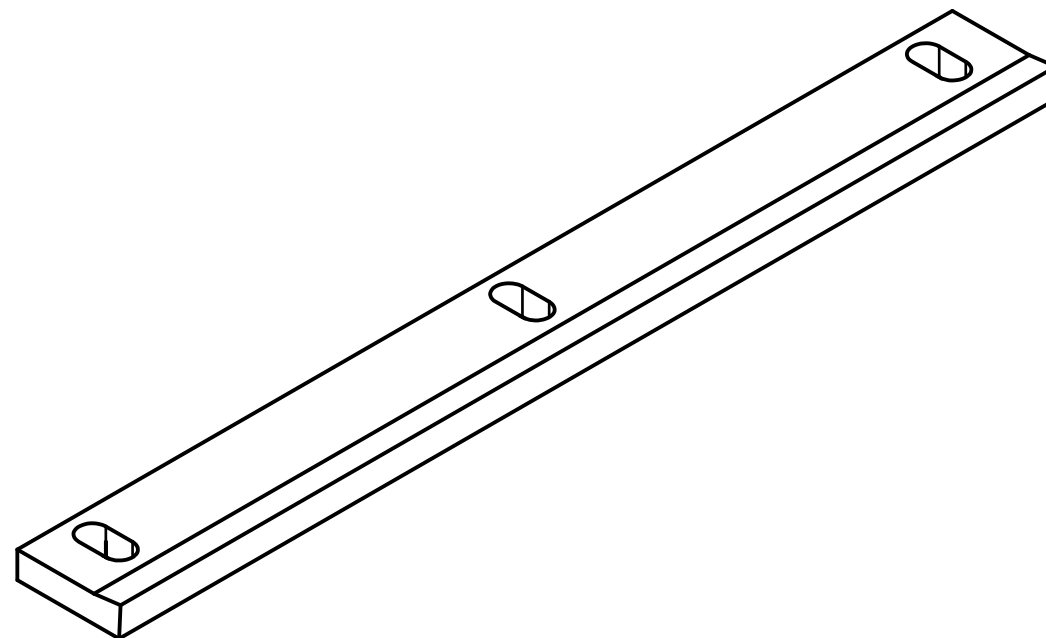




Material empleado: ASTM A36

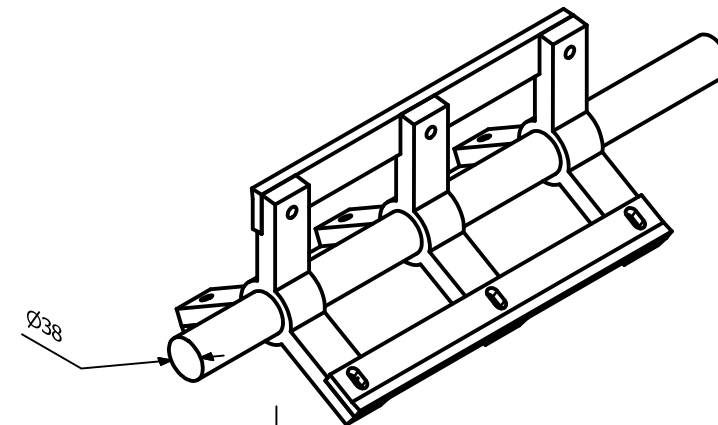
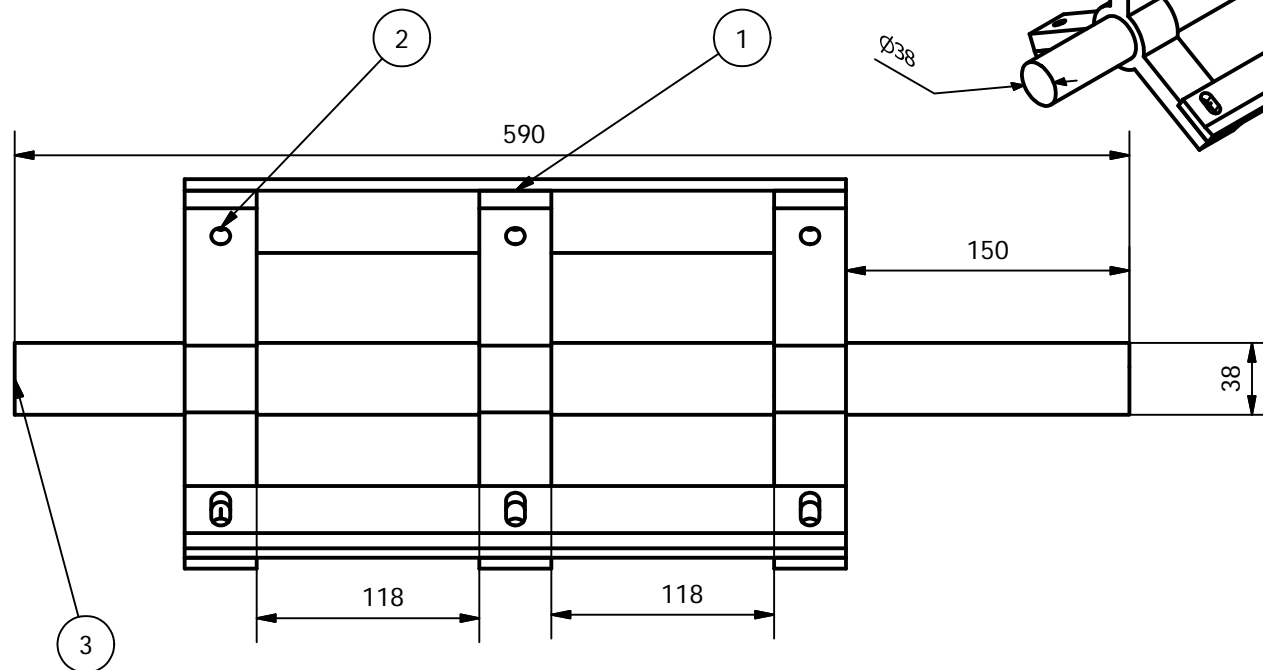
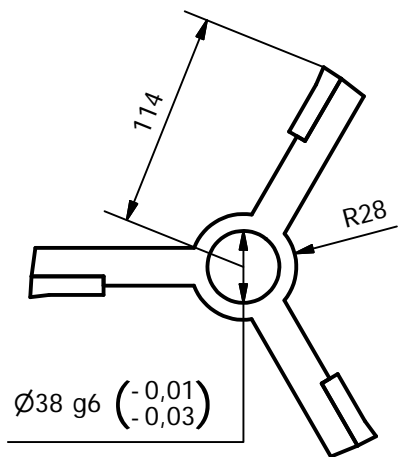
Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:15	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ		Titulo: PLANO DE SOPORTE DE CUCHILLAS MOVILES	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  Nº Plano: 1




Material AISI D2



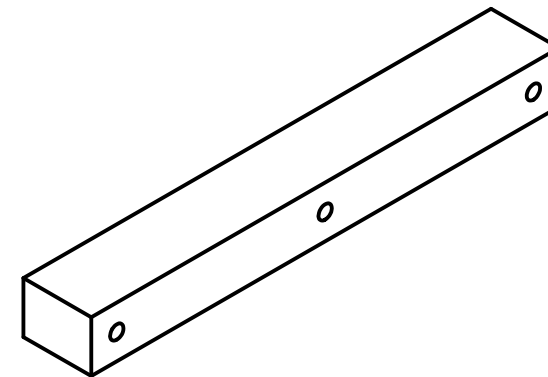
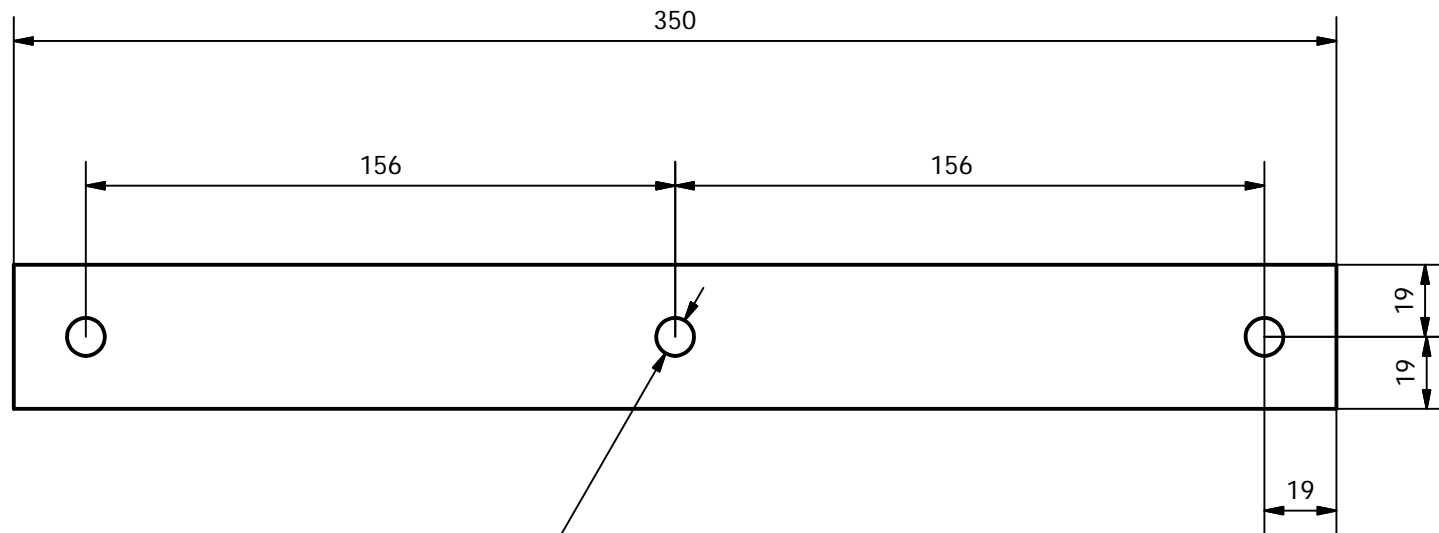
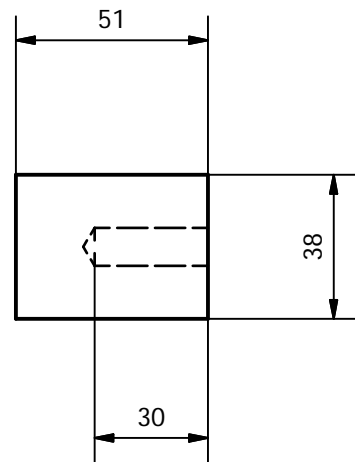
Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:2	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ		Titulo: CUCHILLAS AISI D2	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  N° Plano: 2



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	3	Cuchilla	AISI D2
2	3	Soporte de Cuchillas moviles	Dia ext. 114 mm
3	1	Eje	Dia. 3/4 Pul. x 590 mm



Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:4	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ		Titulo: ENSAMBLE DE EJE CON CUCHILLAS MOVILES	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema: Nº Plano: 3



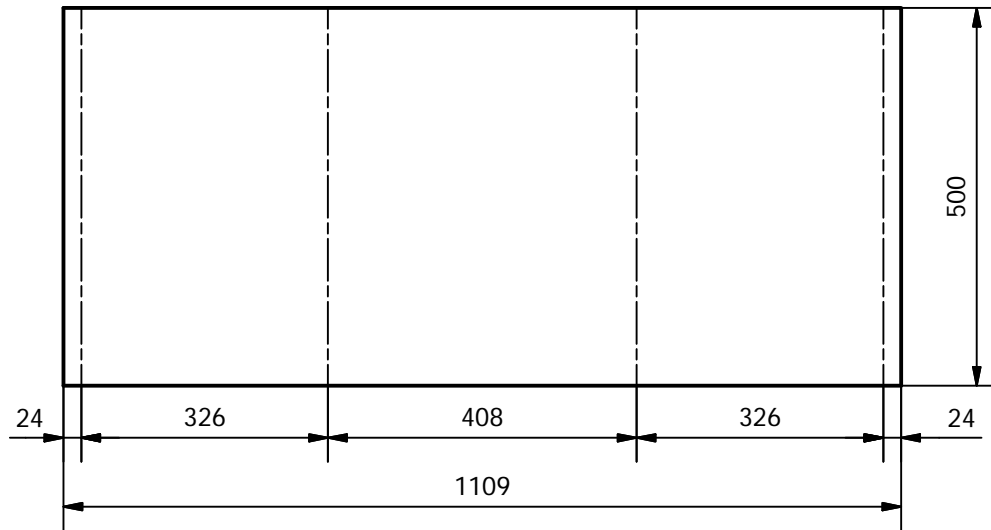


3 x  $\varnothing 10$  x 30 mm  $\nabla$

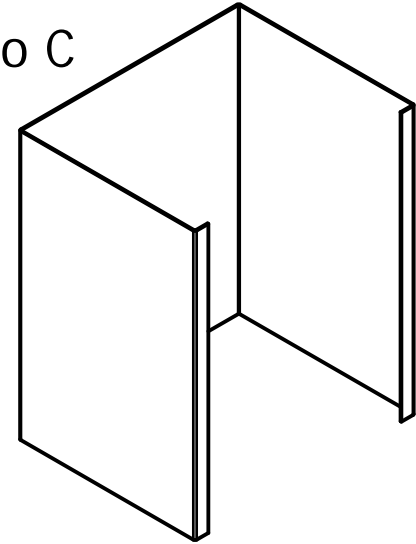
Material ASTM A36

Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:2	Formato: A4	Date 10/08/2018
		Titulo: SOPORTE DE CUCHILLAS FIJAS	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  N° Plano: 4

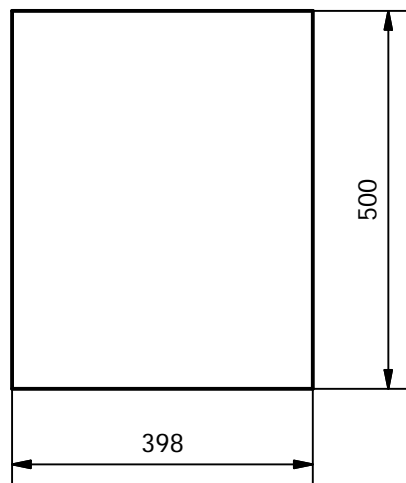
PL tolva tipo C, PL 1.5 mm



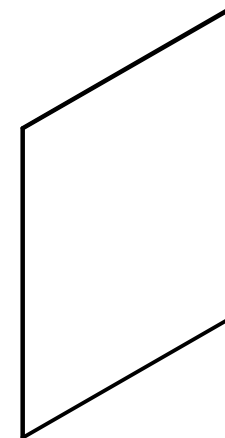
PL tolva tipo C





PL tolva tipo D, PL 1.5 mm

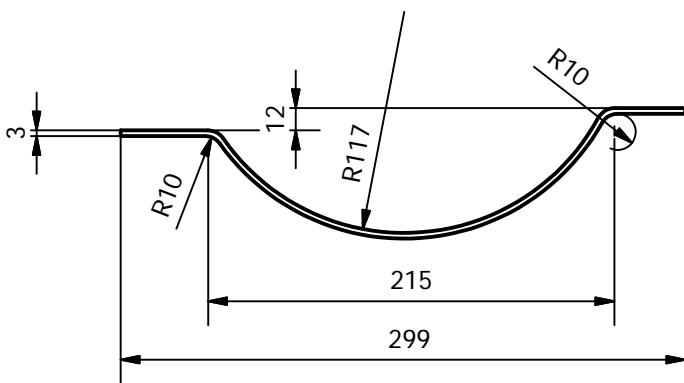
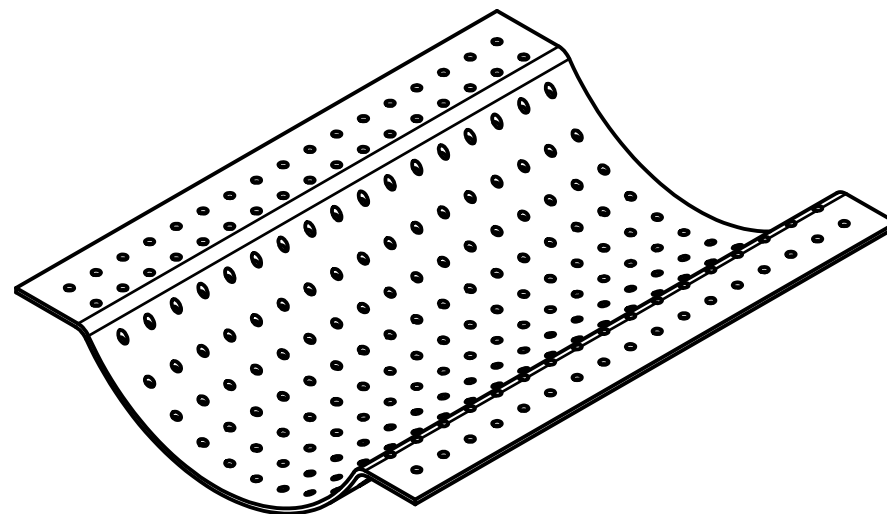
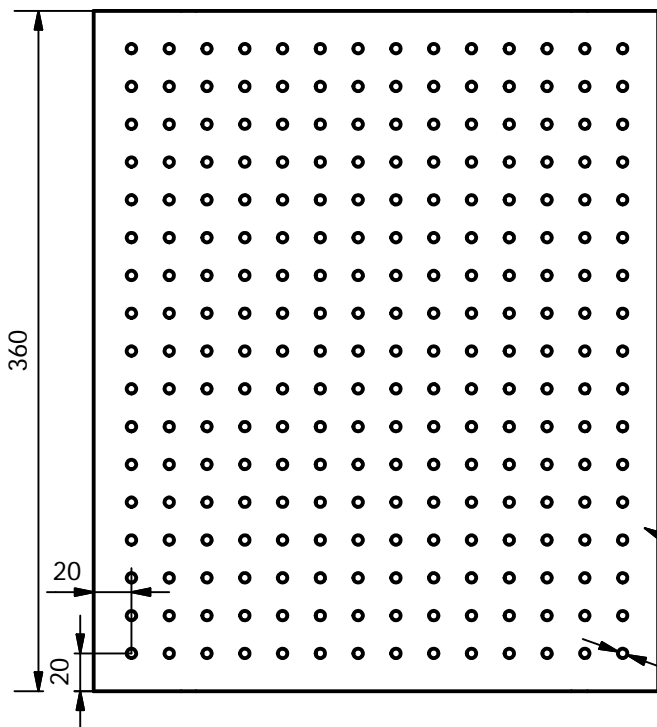


PL tolva tipo D





Material ASTM A-36

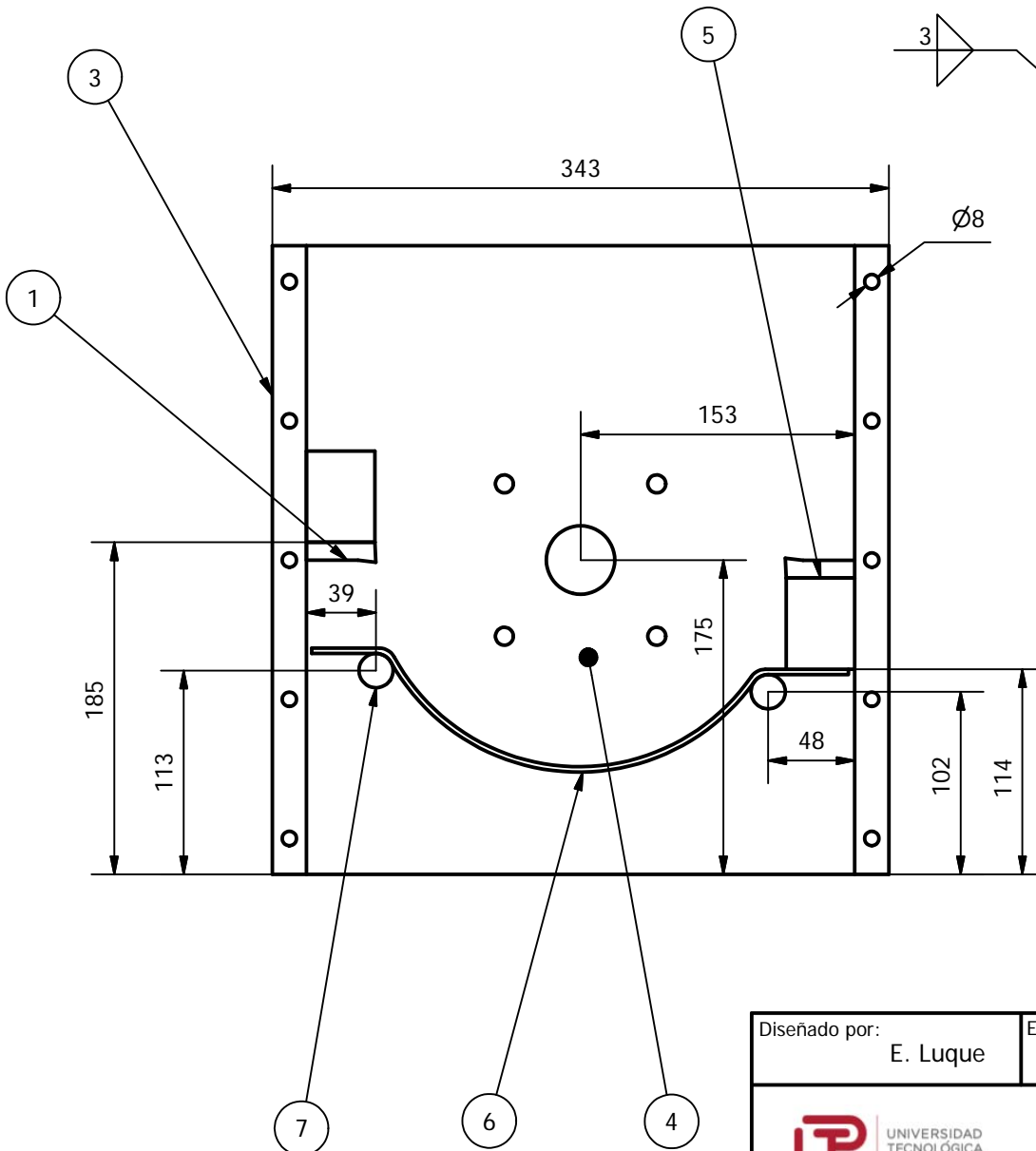
Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:10	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ FIME		Titulo: PLANO DE CORTE Y DOBLES DE PL TOLVA BASE	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  N° Plano: 5





Material: ASTM A36

Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:4	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ		Título: CRIBA 5 mm	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  Nº Plano: 6

FIME

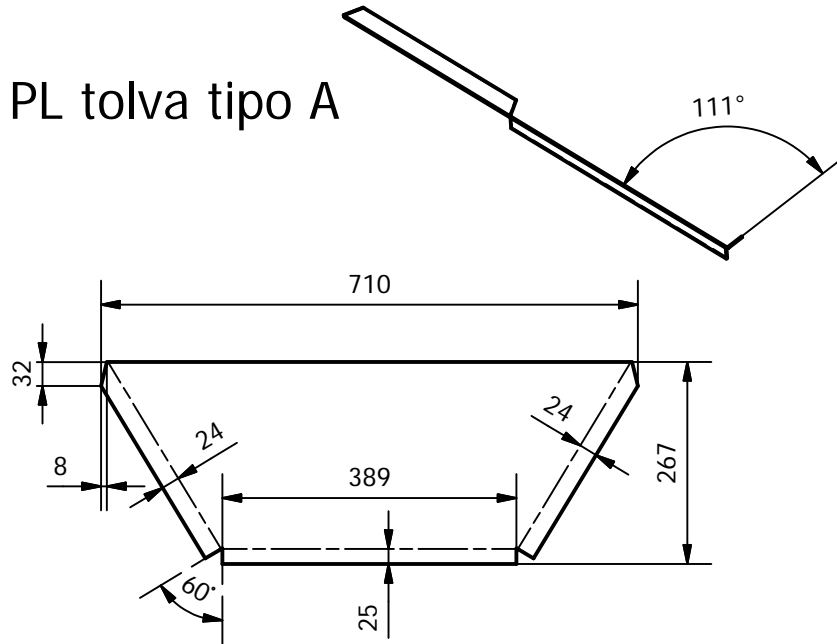


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	5	Cuchillas	Material AISI D2
3	2	Plancha Frontal	PL 1/2 Pul x 362 mm x 350 mm
4	2	Plancha lateral	PL 1/2 Pul x 343 mm x 350 mm
5	2	Soporte Cuchilla fija	Barra 51 mm x 38 mm 350 mm
6	1	Criba	PL 3/16 Pul x 346 mm x 360 mm
7	2	Seguros de criba	Dia. 3/4 Pul x 430 mm
8	1	Chumacera de pared	Chumacera de pared Dia int. 3/4 Pul

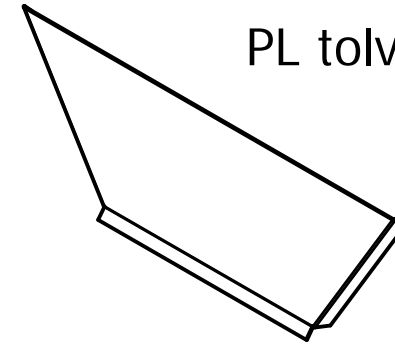
Diseñado por: E. Luque		Escala: 1:4		Formato: A4		Date 10/10/2018	
<div> UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ</div> <div>FIME</div>				Titulo: ENSAMBLE DE CAMARA DE TRITURACION			
				Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET		Sistema: 	Nº Plano: 7

G ( 1 : 10 )

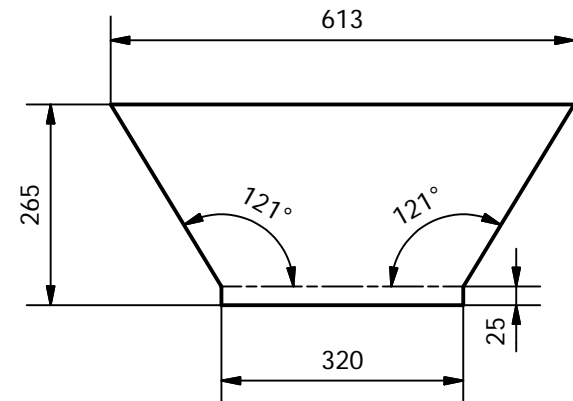
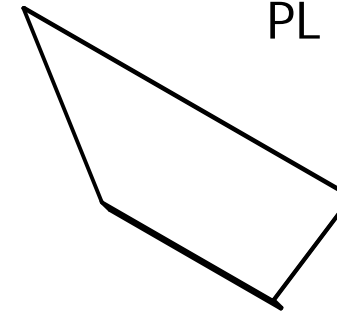
PL tolva tipo A



PL tolva tipo A





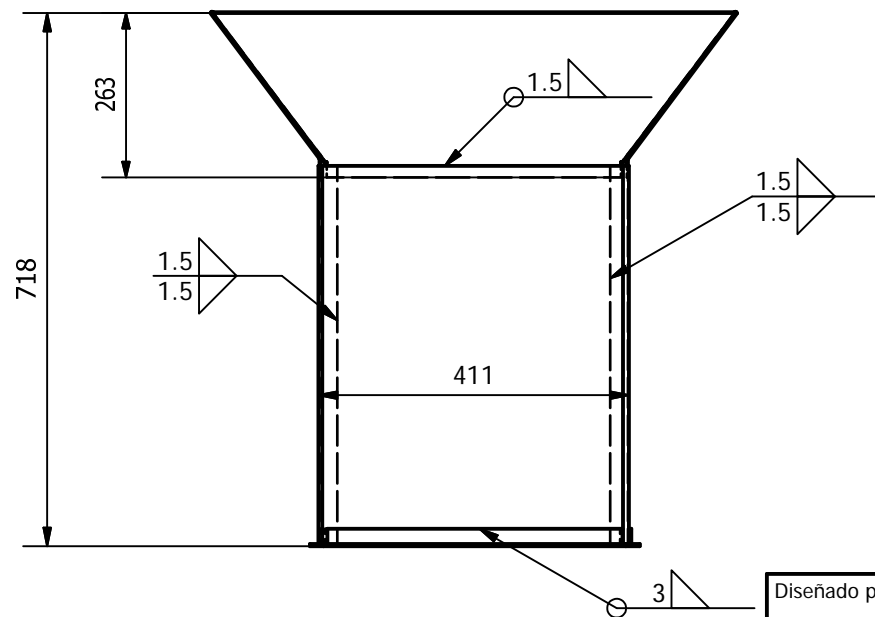
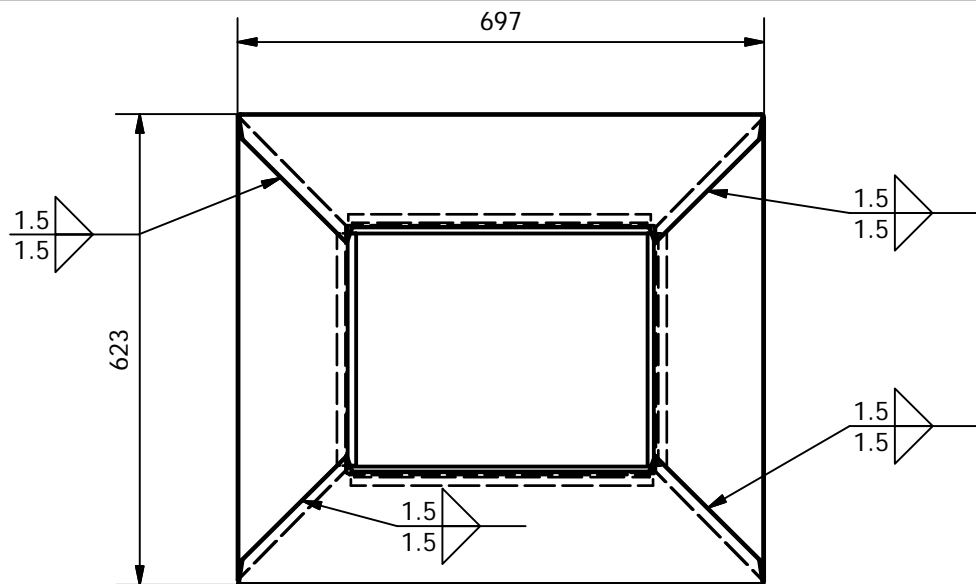
PL tolva tipo B



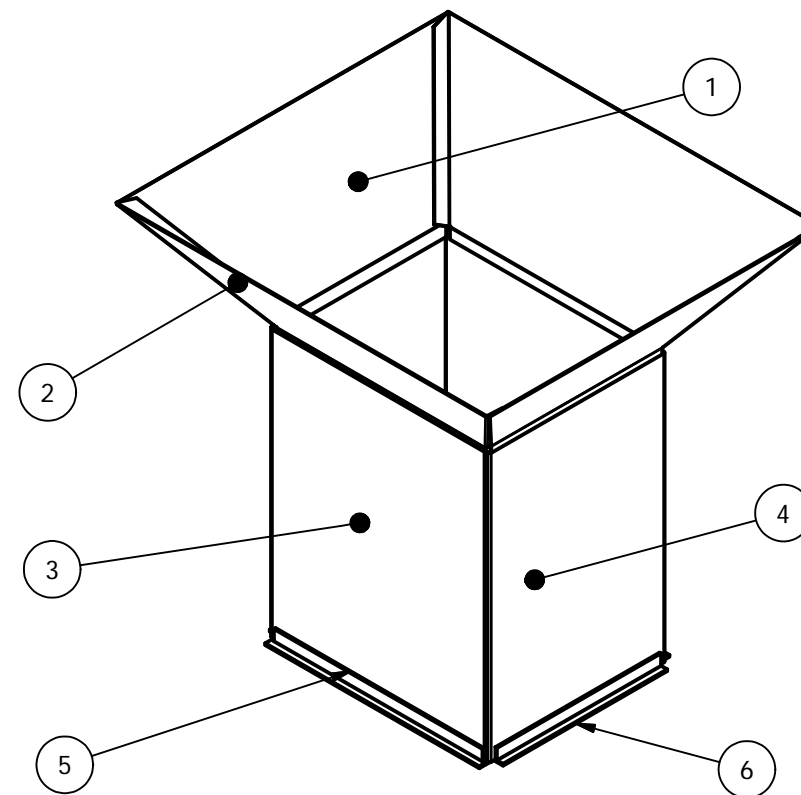
PL tolva tipo B

Material empleado: ASTM A36  
PL 1.5 mm



Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:15	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ FIME		Titulo: PLANO DE CORTE Y DOBLES DE PL TOLVA	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  N° Plano: 8



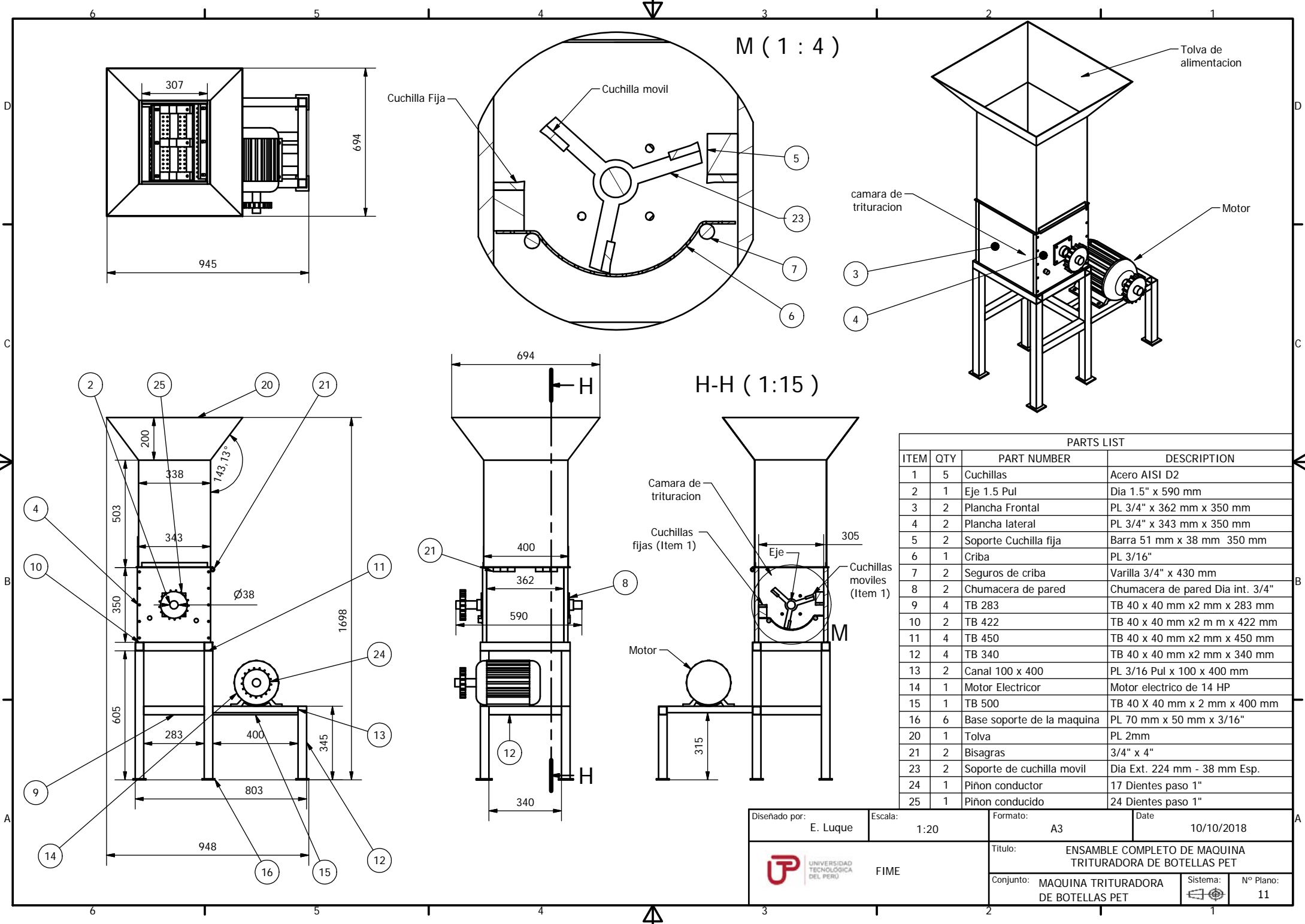
Material empleado: ASTM A36



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	PL Tolva tipo B	PL 623 mm x 267 mm x 1.5 mm
2	2	PL Tolva tipo A	PL 710 mm x 265 mm x 1.5 mm
3	1	PL tolva tipo D	PL 398 mm x 500 mm x 1.5 mm
4	1	PL tolva tipo C	PL 1109 mm x 500 mm x 1.5 mm
5	2	Perfil T 410.1	Perfil T x 1/8 x 400 mm
6	2	Perfil T 293	Perfil T x 1/8 x 307 mm

Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:15	Formato: A4	Date 10/08/2018
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ FIME		Título: PLANO DE ENSAMBLE DE TOLVA	
		Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET	Sistema:  N° Plano: 9





M ( 1 : 4 )

H-H ( 1:15 )

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	5	Cuchillas	Acero AISI D2
2	1	Eje 1.5 Pul	Dia 1.5" x 590 mm
3	2	Plancha Frontal	PL 3/4" x 362 mm x 350 mm
4	2	Plancha lateral	PL 3/4" x 343 mm x 350 mm
5	2	Soporte Cuchilla fija	Barra 51 mm x 38 mm 350 mm
6	1	Criba	PL 3/16"
7	2	Seguros de criba	Varilla 3/4" x 430 mm
8	2	Chumacera de pared	Chumacera de pared Dia int. 3/4"
9	4	TB 283	TB 40 x 40 mm x2 mm x 283 mm
10	2	TB 422	TB 40 x 40 mm x2 m m x 422 mm
11	4	TB 450	TB 40 x 40 mm x2 mm x 450 mm
12	4	TB 340	TB 40 x 40 mm x2 mm x 340 mm
13	2	Canal 100 x 400	PL 3/16 Pul x 100 x 400 mm
14	1	Motor Electricor	Motor electrico de 14 HP
15	1	TB 500	TB 40 X 40 mm x 2 mm x 400 mm
16	6	Base soporte de la maquina	PL 70 mm x 50 mm x 3/16"
20	1	Tolva	PL 2mm
21	2	Bisagras	3/4" x 4"
23	2	Soporte de cuchilla movil	Dia Ext. 224 mm - 38 mm Esp.
24	1	Piñon conductor	17 Dientes paso 1"
25	1	Piñon conducido	24 Dientes paso 1"

Diseñado por: E. Luque	Escala: 1:20	Formato: A3	Date 10/10/2018
Título: ENSAMBLE COMPLETO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET			
Conjunto: MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET			Sistema: N° Plano: 11